



Gonçalo Nuno Costa Cruz Simões

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Estudo do comportamento acústico de protótipo inovador para compartimentação modular interior

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Doutor Jorge Viçoso Patrício, LNEC

Co-orientadora: Doutora Paulina Faria, Professora Associada, FCT UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Manuel Anjos Henriques

Arguente: Prof. Doutor Daniel Aelenei

Vogal: Prof. Doutor Jorge Viçoso Patrício



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho de 2014

‘Copyright’ Gonçalo Nuno Costa Cruz Simões, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a todos os que contribuíram para a realização da presente dissertação:

Ao Doutor Jorge Viçoso Patrício, Presidente da Sociedade Portuguesa de Acústica, membro da Comissão de Especialização em Engenharia Acústica da Ordem dos Engenheiros, Investigador do LNEC e Orientador desta dissertação, o meu profundo agradecimento por ter permitido a minha presença no laboratório de acústica do LNEC e pelo incansável apoio dado na revisão do texto.

À Doutora Paulina Faria, Professora Associada na Secção de Construção e Hidráulica do DEC/FCT/UNL e co-orientadora desta tese dissertação de mestrado, pela revisão, disponibilidade, apoio e interesse manifestado pelo projecto desde o primeiro momento e sem a qual este trabalho seria inexequível.

Ao Jorge Amaral por toda a dedicação prestada, principalmente a nível experimental.

Ao Eng.º Arménio Estima e ao Eng.º Paulo Henriques responsáveis da DIVILUX – Divisão de Espaço e PCTS – Intelligent Spaces, respectivamente, pela disponibilidade, simpatia e esclarecimentos prestados.

Ao Tiago Branco e ao Fernando Caldeira, amigos e companheiros de trabalho, indiscutivelmente cruciais na materialização do protótipo ensaiado.

Ao Idevor Mendonça e ao Tomas Ferreira pela amizade única e apoio nos ensaios.

Ao Tomas Rocha, Diogo Santos e Diogo Schaefer pela amizade e auxílio na execução de alguns trabalhos experimentais.

Aos colegas de curso Ana Mana, Mariana Santos, Nuno Pedrinho e Carlos Martins pela ajuda e estímulo proporcionados em muitos momentos ao longo do curso.

À Marta pelo companheirismo, compreensão e motivação.

Aos meus pais, pelo grande investimento e confiança que sempre depositaram em mim.

Finalmente, á minha irmã pelo apoio incomensurável, a quem dedico esta dissertação.

RESUMO

A presente dissertação consiste no estudo acústico de um módulo amovível para compartimentação interior, considerando um primeiro protótipo, ainda em desenvolvimento. É um elemento vertical de divisão de espaços interiores, pré-fabricado que não requer a utilização de calhas ou apoio técnico, de rápido e fácil posicionamento, ajustável ao pé direito do local onde é instalado, mantendo, ainda assim, as características chave de uma divisória convencional. Um conjunto de módulos deste tipo, dispostos linearmente, formarão um divisor que permitirá a personalização de qualquer área interior, nomeadamente habitações, escritórios, galerias, entre outros. A principal característica que diferencia este elemento das soluções existentes actualmente no mercado é a sua mobilidade depender exclusivamente de um conjunto de rolamentos integrados na base de cada módulo. Através de um sistema de elevação incorporado, o utilizador pode baixar o módulo, movê-lo para a posição desejada e voltar a elevá-lo até que este fique comprimido contra a laje do tecto, ficando assim estável.

O trabalho realizado pretendeu aprofundar conhecimentos na área de acústica para que possam ser introduzidas modificações num segundo protótipo a ser desenvolvido futuramente.

Dessa forma, realizaram-se diversos ensaios que decorreram no laboratório de acústica do LNEC. Inicialmente procedeu-se à materialização de um ensaio de absorção sonora, realizado para uma única tipologia do módulo, e efectuou-se um mapeamento de medições do nível de pressão sonora.

A execução de adaptações no sistema e a abertura na parede, que separa as câmaras reverberantes, possibilitou a concretização de diversos ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos para diferentes tipologias do mesmo.

Os resultados destes ensaios permitiram não só concluir quais os materiais que deverão ser preferencialmente contemplados neste tipo de solução, com vista a um melhor desempenho acústico, como também adiantar dados adicionais que poderão ser relevantes na fase de projecto deste tipo de estruturas aligeiradas.

Termos chave: Acústica, isolamento sonoro, absorção sonora, compartimentação interior, protótipo, ensaios.

ABSTRACT

The present dissertation consists on the acoustic study of a removable module for interior partitioning, considering a first prototype, still in development. It is a prefabricated, vertical element for division of interior spaces that does not require the use of gutters or technical support, with quick and easy positioning, adjustable to the ceiling where it is installed, while still possessing the key characteristics of a conventional partition. A set of such modules, linearly disposed, will create a division, allowing the personalization of any indoor area, including homes, offices, stores, among others. The main characteristic that distinguishes this element from the existing solutions available on the market is that its mobility relies exclusively on a set of integrated bearings at the base of each module. Through an incorporated elevation system, the user can lower the module, move it to the desired position and re-elevate it until it is pressed against the ledge of the ceiling, making it stable.

The main goal of this work is to broaden knowledge in the acoustics field so that changes can be introduced into a second prototype, to be developed in the future.

In this sense, several tests were made in the acoustics lab of the LNEC. Initially a sound absorption test was conducted for a single typology of the partition, as well as a mapping of the sound pressure level measurements.

After performing adjustments on the module and making a test opening in an existing wall which separates reverberant chambers, it was possible to complete airborne sound insulation tests, for different typologies of the referred module.

The results of these tests have not only allowed to conclude which materials should preferably be addressed in this type of solution in order to achieve a better acoustic performance, but also to anticipate additional information that may be relevant in the design phase of this type of light-weight structures.

Keywords: Acoustics, sound insulation, sound absorption, interior partitioning, prototype tests.

SIMBOLOGIA

SIGLAS

DEC – Departamento de Engenharia Civil;
EASE – Electro Acoustic Simulation for Engineers;
EN – Norma Europeia;
ETA – European Technical Approval;
FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL;
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
I&D – Investigação e Desenvolvimento;
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial;
IPQ – Instituto Português da Qualidade;
IST – Instituto Superior Técnico;
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
MDF – Medium Density Fiberboard;
NP – Norma Portuguesa;
OSB – Oriented Strand Board;
UE – União Europeia;
UNL – Universidade Nova de Lisboa.

NOTAÇÕES LATINAS

A – Área de absorção sonora equivalente do compartimento (m^2);
 A_0 – Área de absorção sonora de referência para as salas de dimensões correntes em edifícios de habitação ($A_0 = 10 \text{ m}^2$);
 A_2 – Área de absorção sonora do compartimento receptor (m^2);
 c – Velocidade de propagação do som no ar (m/s);
dB – Decibel;
dB(A) – Decibel A (com ponderação de malha A);
 $D_{2m,nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro normalizado de uma fachada (dB);
 $D_{nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro normalizado de paredes interiores (dB);
 e – Espessura (m);
 E_a – Energia sonora absorvida (W/m^2);
 E_i – Energia sonora incidente (W/m^2);
 F – Força (N);
 f – Frequência (Hz);

f_0 – frequência central da banda (Hz);
 f_1 – limite inferior da banda de frequências (Hz);
 f_2 – limite superior da banda de frequências (Hz);
 H_r – Humidade relativa (%);
Hz – Hertz;
 I – Intensidade sonora (W/m^2);
 L_A – Nível sonoro ponderado A [dB(A)];
 L_I – Nível de intensidade sonora (dB);
 L_{p1} – Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB);
 L_{p2} – Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB);
 m – Massa superficial (kg/m^2);
 N – Newton;
 p – Pressão sonora (Pa);
 P_0 – Pressão atmosférica padrão = $1,014 \times 10^5$ (Pa);
 P_{ref} – Pressão sonora de referência = 2×10^{-5} (Pa);
 $P(t)$ – Pressão sonora total (Pa);
 R – Índice de redução sonora dos elementos de construção (dB);
 R_w – Valor único do índice de redução sonora (dB);
 $R_w(C; C_{tr})$ – Expressão completa do índice de redução sonora afectado dos termos de adaptação a ruído aéreo e a ruído de tráfego (dB);
 R'_w – Valor único do índice de redução sonora aparente (dB);
 S – Área do elemento de separação (m^2);
 T – Temperatura relativa do ar ($^{\circ}\text{C}$), Período;
 t – Tempo (s);
 T_1 – Tempo de reverberação da câmara de ensaio vazia (s);
 T_2 – Tempo de reverberação da câmara de ensaio com o provete de ensaio (s);
 T_r – Tempo de reverberação (s);
 T_{r0} – Tempo de reverberação de referência = 0,5 s;
 v – Velocidade (m/s);
 V – Volume interior do recinto receptor (m^3);
 W – Potência sonora (W);
 W_1 – Potência sonora incidente no elemento de separação (W);
 W_2 – Potência sonora transmitida para o compartimento receptor (W);
 W_{ref} – Potência sonora de referência = 10^{-12} (W).

NOTAÇÕES ESCALARES GREGAS

α – Coeficiente de absorção sonora teórico;

α_i – Coeficiente de absorção sonora do elemento construtivo;

α_p – Factor de absorção sonora;

α_s – Coeficiente de absorção sonora medido;

α_w – Coeficiente de absorção sonora ponderado;

ρ – Massa volúmica (kg/m^3);

ρ_0 – Massa específica do ar (kg/m^3).

OPERADORES

Δ – Variação;

ΔR – Variação do índice de redução sonora (dB);

ΔR_w – Variação do índice de redução sonora (dB).

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	ENQUADRAMENTO	1
1.2.	OBJECTIVOS E METODOLOGIA	2
1.3.	ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO.....	3
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ASPECTOS LEGAIS	5
2.1.	SOM E O RUÍDO	5
2.2.	PERÍODO, FREQUÊNCIA E COMPRIMENTO DE ONDA	6
2.3.	DECIBEL, BANDAS DE FREQUÊNCIAS E MALHAS DE PONDERAÇÃO.....	7
2.4.	NÍVEL DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORAS	9
2.5.	ABSORÇÃO SONORA.....	11
2.6.	ISOLAMENTO SONORO	17
2.7.	REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA APLICÁVEL.....	22
2.7.1.	<i>Regulamentação Acústica.....</i>	23
3.	DIVISÓRIAS LEVES PRÉ-FABRICADAS	29
3.1.	SOLUÇÕES COMERCIALIZADAS	29
3.1.1.	<i>Empresa Divilux – Divisão de Espaço.</i>	29
3.1.2.	<i>Empresa Pcts – Intelligent Spaces.....</i>	30
3.1.3.	<i>Vantagens de utilização de sistemas pré-fabricados.....</i>	32
3.2.	MARCAÇÃO CE	33
4.	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	37
4.1.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	37
4.1.1.	<i>Caracterização Dimensional.....</i>	40
4.1.2.	<i>Estrutura Metálica.....</i>	41
4.1.3.	<i>Corte de revestimentos e propriedades dos produtos integrados.....</i>	41
4.2.	ENSAIOS REALIZADOS E TIPOLOGIAS DO PROTÓTIPO	45
4.3.	ADAPTAÇÕES PRÉVIAS AO ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA NO MÓDULO.....	46
4.4.	ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA	47
4.4.1.	<i>Condições de ensaio e equipamento utilizado.....</i>	47
4.4.2.	<i>Procedimento de ensaio.....</i>	47
4.5.	TRABALHOS PRÉVIOS AOS ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO ...	48
4.6.	ADAPTAÇÕES PRÉVIAS AOS ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO NO MÓDULO	50
4.7.	ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS.....	52
4.7.1.	<i>Condições de ensaio e equipamento utilizado.....</i>	52
4.7.2.	<i>Procedimento de ensaio.....</i>	53
4.8.	ENSAIO DE MEDIÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	56
4.9.	TRABALHOS POSTERIORES AOS ENSAIOS	57
5.	ANÁLISE E TRATAMENTO DE RESULTADOS	59
5.1.	ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA AS1	59
5.2.	ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO IS1	62
5.3.	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO	71
5.4.	ENSAIO DE MEDIÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	72
6.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	75

7.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	85
7.1.	CONCLUSÕES GERAIS	85
7.2.	TRABALHOS FUTUROS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	ANEXO I – DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA COM O PROVETE AS1	93
	ANEXO II – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DA PAREDE QUE SEPARA AS CÂMARAS REVERBERANTES	94
	ANEXO III – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE IS2	95
	ANEXO IV – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE IS3	101
	ANEXO V – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE DO IS4	107
	ANEXO VI – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE DO IS5	113
	ANEXO VII – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE DO IS6	119
	ANEXO VIII – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE DO IS7	125
	ANEXO IX – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE DO IS8	131
	ANEXO X – RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS DO PROVETE DO IS9	135
	ANEXO XI – BOLETIM DE ENSAIO LNEC - PROVETE IS9	141

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Variação da pressão sonora $p(t)$ ao longo do tempo.....	5
Figura 2.2 – Representação esquemática de período.....	6
Figura 2.3 – Designação do som, no domínio da frequência e do comprimento de onda.....	7
Figura 2.4 – Malhas de ponderação.....	9
Figura 2.5 – Ilustração que exhibe os processos energéticos no choque de uma onda sonora com um elemento de compartimentação.....	11
Figura 2.6 – Curva de referência utilizada no cálculo de α_w , na sua posição inicial.....	13
Figura 2.7 – Comportamento de um painel ressonante relativamente à absorção sonora.....	15
Figura 2.8 – Ressorador de <i>Helmholtz</i>	15
Figura 2.9 – Ilustração da evolução da absorção sonora em sistemas compostos.....	16
Figura 2.10 – Impacto qualitativo dos sons aéreos e percussão na envolvente.....	17
Figura 2.11 – Transmissão aérea entre dois compartimentos no LNEC.....	18
Figura 2.12 – Evolução do isolamento sonoro para elementos de compartimentação.....	18
Figura 2.13 – Ilustração esquemática do ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos.....	19
Figura 2.14 – Exemplo de um ajustamento entre a curva de perdas de transmissão sonora e a descrição convencional de referência.....	20
Figura 2.15 – Espectros para o cálculo dos termos de adaptação espectral por bandas de frequências com largura de um terço de oitava, ponderados pela malha A.....	21
Figura 3.1 – Tipologias da solução Metrica.....	30
Figura 3.2 – Implantação da solução Metrica.....	30
Figura 3.3 – Apresentação e disposições possíveis da solução Turnkey.....	31
Figura 3.4 – Tipologias da solução Turnkey.....	31
Figura 3.5 – Possibilidades de compartimentação num <i>open-space</i>	31
Figura 3.6 – Logotipo da Marcação CE.....	33
Figura 3.7 – Passos da marcação CE para um produto.....	35
Figura 4.1 – Modelo tridimensional do protótipo.....	37
Figura 4.2 – Aplicação conceptual do sistema.....	38
Figura 4.3 – Módulo posicionado no laboratório de acústica do LNEC.....	38
Figura 4.4 – Módulo em corte e constituição interior.....	39
Figura 4.5 – Módulo planificado com identificação das suas faces.....	39
Figura 4.6 – Dimensões do módulo quando aplicado no laboratório de acústica do LNEC.....	40
Figura 4.7 – Maquinaria utilizada no fabrico de perfis à medida: Quinadeira (à esquerda e no centro) e Guilhotina (à direita).....	41
Figura 4.8 – Corte de placas com medidas pré-definidas.....	42
Figura 4.9 – Identificação das placas de contraplacado de choupo no sistema.....	42
Figura 4.10 – Placas pequenas utilizadas nos ensaios.....	43
Figura 4.11 – Placas Knauf Insulation com uma espessura de 50 [mm] cada.....	44
Figura 4.12 – Transporte dos materiais e equipamentos necessários para o laboratório de acústica por intermédio de elevador mecânico.....	46
Figura 4.13 – Perfis dispostos paralelamente (a) e (b) e Fita Faixa ISOLMANT (c).....	46
Figura 4.14 – Abertura totalmente preenchida aquando a realização do ensaio de absorção na câmara emissora.....	48
Figura 4.15 – Montagem de andaime (a), marcação da área a demolir (b) e corte pelo limite máximo (c).....	48
Figura 4.16 – Arrancamento de placas de cortiça (a), preparação de argamassa (b) e demolição da área 2350 x 820 [mm] (c).....	49
Figura 4.17 – Regularização dos paramentos.....	49
Figura 4.18 – Aspecto final da abertura e medição da humidade relativa.....	49
Figura 4.19 – Aspecto final visto de ambos os lados da parede.....	50
Figura 4.20 – Colagem de tábuas de madeira ao provete.....	51
Figura 4.21 – Suportes: Isolmant Underslim (a) e Isolmant Polimuro (b).....	51

Figura 4.22 – Medições de posicionamento, reforço em zonas frágeis e duplicação da corticite.....	52
Figura 4.23 – À esquerda e centro: Visto do lado da câmara emissora; À direita: Visto do lado da câmara receptora.....	53
Figura 4.24 – Aplicação de silicone na folga entre o provete e a abertura.	54
Figura 4.25 – Corte do silicone para remoção do provete da abertura.....	55
Figura 4.26 – Troca de painéis (a) e aspecto do provete IS5 (b), e do provete IS6 (c).....	55
Figura 4.27 – Aspecto da parede que separa as câmaras reverberantes após o fecho da abertura onde foi ensaiado o provete.....	57
Figura 5.1 – Tempos de reverberação médios.	59
Figura 5.2 – Resultados de absorção sonora obtidos pelo provete AS1 nas bandas de frequências de terço de oitava.....	60
Figura 5.3 – Resultados de absorção sonora obtidos pelo provete AS1 nas bandas de frequências de oitava.	60
Figura 5.4 – Translação da curva de referência.	61
Figura 5.5 – Processo para obtenção do Índice de Isolamento Sonoro.....	62
Figura 5.6 – Verificação da correcção do ruído de fundo.....	66
Figura 5.7 – Curva característica do isolamento sonoro para o provete IS1.....	70
Figura 5.8 – Esquematização das zonas onde foram feitas as medições.....	72
Figura 5.9 – Isolamento sonoro bruto do módulo em cada uma das 3 alturas analisadas.....	74
Figura 6.1 – Análise comparativa da absorção sonora entre o provete AS1 e as placas de cortiça para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.	76
Figura 6.2 – Análise comparativa da absorção sonora entre o provete AS1 e as placas de cortiça para bandas de frequências com largura de oitava.	76
Figura 6.3 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS1, IS2 e IS3.	77
Figura 6.4 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS4, IS5 e IS6.	78
Figura 6.5 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS1 e IS4.....	79
Figura 6.6 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS2 e IS5.....	79
Figura 6.7 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS3 e IS6.....	80
Figura 6.8 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS7 e IS9.....	81
Figura 6.9 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS6 e IS7.....	81
Figura 6.10 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS7 e IS8.....	82
Figura 6.11 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro do provete IS9 e divisória Métrica (DIVILUX).....	83
Figura 6.12 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro do provete IS9 e divisória manobrável tipo I (PCTS).	83

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Relação entre grandezas de acústica.....	8
Quadro 2.2 – Frequências centrais das bandas de terços de oitava e oitava e respectivos limites.....	8
Quadro 2.3 – Correções relativas à ponderação da malha A.	10
Quadro 2.4 – Descrição convencional de referência.	20
Quadro 2.5 – Termos de adaptação espectral apropriados para diferentes tipos de fontes de ruído.....	21
Quadro 2.6 – Corresponde ao Quadro I dos anexos do RRAE.	27
Quadro 3.1 – Especificações das diferentes tipologias TURNKEY	31
Quadro 3.2 – Sistemas de avaliação de desempenho.	34
Quadro 4.1 – Massas, Dimensões e Áreas estimados para as placas de contraplacado utilizadas.....	42
Quadro 4.2 – Massas, Dimensões e Áreas estimados para as placas de OSB utilizadas.....	43
Quadro 4.3 – Massas, Dimensões e Áreas estimados para as placas de MDF utilizadas.....	43
Quadro 4.4 – Massas estimadas das diversas componentes que compõem o módulo.	44
Quadro 4.5 – Ensaios realizados no LNEC.	45
Quadro 4.6 – Ensaios suplementares realizados.....	45
Quadro 4.7 – Massas estimados dos provetes utilizados nos ensaios.	45
Quadro 4.8 – Massa superficial dos provetes ensaiados.	53
Quadro 5.1 – Cálculos efetuados para a determinação do coeficiente de absorção sonora ponderado.	61
Quadro 5.2 – Classes de absorção sonora.	62
Quadro 5.3 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.....	63
Quadro 5.4 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.....	63
Quadro 5.5 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.....	64
Quadro 5.6 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.....	64
Quadro 5.7 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.....	65
Quadro 5.8 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.....	65
Quadro 5.9 – Cálculos de acordo com a norma ISO 10140-2 para o ensaio IS1.	67
Quadro 5.10 – Verificação de acordo com a norma ISO 10140-2 para o ensaio IS1.....	68
Quadro 5.11 – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS1.....	69
Quadro 5.12 – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.....	69
Quadro 5.13 – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.....	70
Quadro 5.14 – Resultados dos ensaios de isolamento sonoro para as diferentes tipologias ensaiadas.....	71
Quadro 5.15 – Resultados do ensaio do nível de pressão sonora para as diferentes zonas do provete NS5.	73
Quadro 5.16 – Resultados do ensaio do nível de pressão sonora para as diferentes zonas do provete NS5, ponderados pela malha A.	74
Quadro 6.1 – Comparação entre os resultados obtidos pelo provete AS1 e pelas de placas de cortiça.	75

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Nas últimas décadas tem-se assistido a um aumento dos níveis sonoros que afectam directamente a qualidade de vida dos cidadãos. A sobrepopulação e a consequente falta de espaço são aspectos que deverão, cada vez mais, ser tidos em conta na materialização de soluções que mitiguem o ruído provocado pelas atividades do quotidiano. O dinamismo característico das novas gerações força os projetistas a serem versáteis e, ao mesmo tempo, actantes na conservação do conforto acústico interior das edificações. Aliar este aspecto à possibilidade de se poder definir um espaço temporário com a disposição geométrica pretendida para cada momento, constitui a visão que sustenta o objecto ensaiado na presente dissertação, que consiste no primeiro protótipo de um módulo divisor de espaços interiores. Representa, deste modo, uma primeira abordagem, limitada aos recursos disponíveis, do que pretende ser um elemento amovível, relativamente leve, que garanta resistência estrutural (sendo autoportante) e mecânica, um desempenho acústico razoável e principalmente segurança na sua operacionalidade e em serviço. A extrapolação deste conceito a vários módulos idênticos acoplados entre si originará um sistema de compartimentação contínuo não estrutural. Uma descrição mais pormenorizada deste módulo encontra-se submetida sob a forma de Patente Nacional, n.º 106016, e de consulta pública através do INPI.

Contrariamente às soluções clássicas de compartimentação interior conhecidas como divisórias fixas, que separam áreas com diferentes funcionalidades, um conjunto de módulos como o referido favorecerá a rentabilização de qualquer espaço. Devido aos sistemas de mobilidade incorporados, estes poderão ocupar qualquer posição dentro de um compartimento, seja este uma sala de estar, um *open space* ou outro. Além destas soluções, existem outras no mercado que se podem movimentar segundo uma calha técnica e que também implicam mão-de-obra prévia na sua montagem, mas que se diferenciam do módulo referido uma vez que a sua movimentação se encontra restrita a uma única direcção. Independentemente do tipo de soluções adoptadas na divisão espacial interior, é fundamental que estas apresentem um desempenho considerável ao nível do isolamento sonoro a sons aéreos, particularmente na gama de frequências média e alta, como é o caso da voz humana e do ruído desencadeado por grande parte das actividades domésticas.

Devido ao âmbito da presente dissertação, não se fez referência aos sistemas mecânicos incorporados no interior do protótipo, cingindo-se apenas o presente estudo a questões de natureza acústica.

1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

Após a concepção, desenvolvimento e materialização da prova de conceito relativa à solução inovadora descrita anteriormente, existe uma clara necessidade de se pôr em prática um conjunto de ensaios a fim de validar exigências mínimas associadas, funcionalmente, a este tipo de estrutura: uma divisória amovível, leve, pré-fabricada. Garantidas a resistência mecânica, estabilidade estrutural e segurança na operacionalidade, surge como prioritário o estudo do comportamento acústico do sistema. Constitui este o objectivo principal desta dissertação.

Por essa razão, foram realizados no laboratório de acústica do LNEC, um ensaio de absorção sonora, um ensaio de medição do nível de pressão sonora, no sentido de determinar expeditamente quais as zonas mais críticas por onde poderão haver maiores perdas sonoras e nove ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos. Com os resultados destes ensaios analisou-se o comportamento do módulo face à variação de diversos revestimentos, nomeadamente placas de contraplacado de choupo, placas de OSB e placas de MDF, utilizando-se simultaneamente, placas de cortiça ou painéis de lã de vidro como material de isolamento acústico, preenchendo a caixa-de-ar, no interior do elemento. Para a melhor combinação entre os constituintes referidos, introduziram-se melhoramentos no elemento, de forma a otimizar o seu desempenho a sons aéreos, e retiraram-se, ainda, ilações sobre a influência da irregularidade do pavimento onde assenta o módulo.

Resumidamente, pretende-se fazer uma actualização relativa ao estado dos conhecimentos de sistemas de compartimentação interior pré-fabricados, e também avaliar como é que se pode contribuir para uma melhoria do desempenho acústico destas soluções. Esta avaliação abrange a influência de diferentes materiais de preenchimento e revestimento do módulo em análise, caracterizando o seu comportamento.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O documento da dissertação encontra-se dividido em sete capítulos.

O presente capítulo diz respeito à introdução.

No segundo capítulo descrevem-se os principais conceitos de acústica relevantes para este trabalho assim como um conjunto de exigências regulamentares nacionais aplicáveis ao sistema em estudo.

O terceiro capítulo reserva-se para a apresentação de sistemas de divisórias leves pré-fabricadas que representam as soluções que existem actualmente no mercado. No mesmo capítulo é ainda realizada uma breve abordagem ao sistema de Marcação CE para estes produtos.

No quarto capítulo procede-se à descrição do protótipo a ensaiar, bem como do planeamento da campanha experimental, particularmente os trabalhos preparatórios e os procedimentos dos ensaios de absorção sonora e de isolamento a sons aéreos, segundo as normas em vigor. É ainda contemplada uma descrição relativa ao ensaio de medição do nível de pressão sonora para diferentes zonas do módulo.

No quinto capítulo apresenta-se a análise e tratamento dos resultados obtidos nos ensaios experimentais efectuados, apresentando-se figuras e quadros correspondentes.

O sexto capítulo reserva-se à discussão de resultados, no qual se justificam os valores identificados no capítulo anterior através da análise conjunta de resultados obtidos nos ensaios realizados. Neste capítulo apresenta-se ainda uma comparação entre os resultados obtidos e os resultados recolhidos junto do LNEC ou mesmo de empresas visitadas que comercializam sistemas integrados de divisórias.

No sétimo capítulo são expostas as conclusões consequentes dos resultados obtidos na campanha experimental levada a efeito, fundamentando se os resultados foram expectáveis e satisfatórios. São igualmente feitas sugestões para trabalhos futuros.

Por último, apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ASPECTOS LEGAIS

Neste capítulo são descritos os principais conceitos de acústica que estão na base do trabalho realizado. Primeiramente faz-se a distinção entre som e ruído. De seguida são definidos os conceitos de período, frequência e comprimento de onda. Apresentam-se também as noções de decibel, malhas de ponderação e os intervalos das bandas de frequências utilizadas nos ensaios, assim como noções do nível de pressão sonora e de potência sonora. Posteriormente abordam-se as temáticas da absorção sonora e do isolamento sonoro, fornecendo as bases primordiais para a compreensão destes domínios. Finalmente, expõem-se as exigências regulamentares nacionais aplicáveis ao sistema em estudo.

2.1. SOM E O RUÍDO

“A Acústica é a ciência que estuda o som, a sua propagação tanto em meio fluido como sólido, e as suas inter-relações com o ser humano numa perspectiva de efeitos causados, tenham eles carácter de agradabilidade (música, voz) ou não (ruído)” (Patrício, 2010).

O som e o ruído são alterações de pressão detectadas pelo sistema auditor (ouvido) e diferenciam-se pela forma como cada indivíduo percepção estes estímulos. Esta diferença é, contudo, subjectiva, uma vez que, por exemplo, o tocar de uma música (ondas sonoras originadas por fonte mecânica) poderá ser considerado um som agradável para uma pessoa mas incómodo para outra. O exemplo referido corresponde a uma perturbação que induz contrações e dilatações, no meio de propagação compressível, neste caso o ar, originando flutuações na pressão existente e, por consequência, variações de velocidade das partículas que oscilam em torno da sua posição de equilíbrio ou estado de repouso.

Deste modo, para um determinado ponto X no ar, a pressão resultante, $P(t)$, corresponde à soma da pressão atmosférica, P_0 , com a pressão devida às perturbações existentes nesse ponto, como ilustra a Figura 2.1.

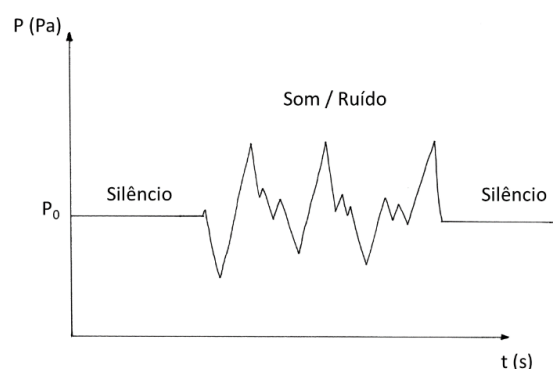


Figura 2.1 – Variação da pressão sonora $p(t)$ ao longo do tempo.

A pressão sonora num ponto define-se em função do tempo pela equação 2.1:

$$p(t) = P(t) - P_0 \quad (2.1)$$

Porém, “*não é muito importante o conhecimento da evolução do valor de $p(t)$, interessando mais a quantificação da energia media posta em jogo durante o intervalo de tempo de interesse*” (Patrício, 2010).

2.2. PERÍODO, FREQUÊNCIA E COMPRIMENTO DE ONDA

O período, representado pela letra T, é o intervalo de tempo que separa um ciclo vibracional homólogo, ou seja, é o tempo decorrido entre dois pontos sucessivos com a mesma amplitude. Como pode ser observado na representação esquemática da Figura 2.2, entre o 3º e 4º máximos, a senoide escolhida tem um período de 0,1 s.

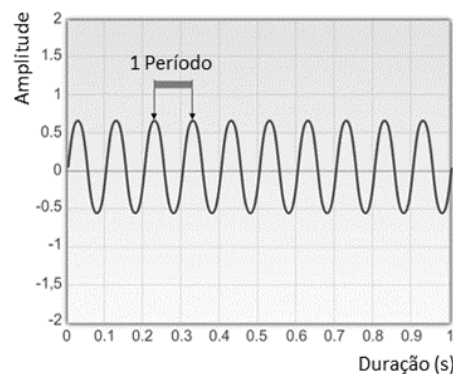


Figura 2.2 – Representação esquemática de período.

A frequência, f , é o número de períodos por unidade de tempo (1 segundo) ou inverso do período como mostra a equação 2.2:

$$f \text{ (Hz)} = \frac{1}{T(s)} \quad (2.2)$$

A frequência também pode ser definida como o número de vezes que se repete o padrão na unidade de tempo que, para o caso considerado na Figura 2.2, corresponde a 10 Hz.

O comprimento de onda, λ , é a distância percorrida pela onda sonora durante o tempo correspondente a um período e pode ser calculada pela equação 2.3:

$$\lambda = \frac{c}{f} = c T \quad (2.3)$$

Nesta equação:

λ – Comprimento de onda (m)

f – Frequência (Hz)

T – Período (s)

c – Velocidade de propagação de onda (m/s), dada pela equação 2.4, que depende exclusivamente da temperatura em graus *Celsius*.

$$c = 331 + 0,6T \quad (2.4)$$

A velocidade de propagação traduz-se na velocidade com que as ondas sonoras se propagam em determinado meio, atendendo às suas características mecânicas e variando com as condições termo-higrômétricas existentes.

Para a senoide considerada, com uma frequência igual a 10 Hz e uma velocidade de propagação de onda igual a 343 m/s, considerando uma temperatura igual a 20°C, o comprimento de onda teórico seria de 34,3 m. A Figura 2.3 ilustra uma representação esquemática da designação do som, no domínio da frequência e do comprimento de onda.

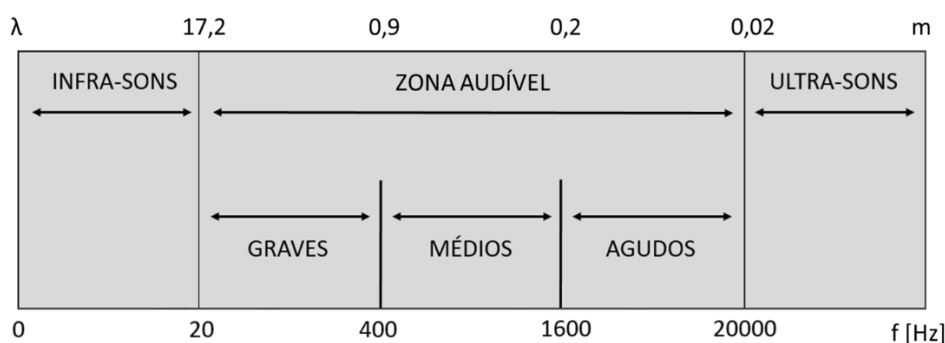


Figura 2.3 – Designação do som, no domínio da frequência e do comprimento de onda.

2.3. DECIBEL, BANDAS DE FREQUÊNCIAS E MALHAS DE PONDERAÇÃO

Em média, o ouvido humano tem a capacidade de detectar sons com frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz, o que significa que o espectro de som que o ouvido consegue distinguir é extremamente elevado. As grandezas sonoras são usualmente expressas em termos dos seus níveis relativamente a um valor de referência, P_{ref} , considerado o limiar da audição. A utilização da unidade de referência de pressão sonora, o Pascal, obrigaria ao uso de diversas casas decimais. Neste contexto, a escala logarítmica é a forma mais adequada de representação, já que permite compactar a elevada extensão da escala linear, expressa em termos de pressões. Além disso, o ouvido humano responde de forma muito próxima de uma função logarítmica. O decibel é por isso a grandeza adequada para se proceder a esta caracterização pois relaciona uma quantidade relativamente a outra de referência.

O Quadro 2.1 exibe a escala audível em decibéis com as pressões correspondentes.

Quadro 2.1 – Relação entre grandezas de acústica.

Nível de pressão sonora	Pressão sonora	Nível de pressão sonora	Pressão sonora
(dB)	(Pa)	(dB)	(Pa)
0	P_{ref}	70	$10^7 P_{ref}$
10	$10^1 P_{ref}$	80	$10^8 P_{ref}$
20	$10^2 P_{ref}$	90	$10^9 P_{ref}$
30	$10^3 P_{ref}$	100	$10^{10} P_{ref}$
40	$10^4 P_{ref}$	110	$10^{11} P_{ref}$
50	$10^5 P_{ref}$	120	$10^{12} P_{ref}$
60	$10^6 P_{ref}$	130*	$10^{13} P_{ref}$

* Um som com 130 dB corresponde à pressão diferencial máxima que o tímpano pode suportar sem que ocorram lesões físicas permanentes.

De forma a facilitar as medições acústicas é comum efectuar as análises por bandas de frequências com uma largura pré-definida e normalizada. Para o presente estudo, utilizaram-se bandas de frequências entre 100 Hz a 5000 Hz. Os valores das frequências centrais e respectivos limites inferiores e superiores das bandas de frequências em oitavas e terços de oitava¹, constam no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Frequências centrais das bandas de terços de oitava e oitava e respectivos limites.

Frequência Central	Banda de terços de frequência	Bandas de oitava
(Hz)	(Hz)	(Hz)
100	89,1 – 112	89,1 – 178
125	112 – 141	
160	141 – 178	
200	178 – 224	178 – 355
250	224 – 282	
315	282 – 355	
400	355 – 447	355 – 708
500	447 – 562	
630	562 – 708	
800	708 – 891	708 – 1410
1000	891 – 1120	
1250	1120 – 1410	
1600	1410 – 1780	1410 – 2820
2000	1780 – 2240	
2500	2240 – 2820	
3150	2820 – 3550	2820 – 5620
4000	3550 – 4470	
5000	4470 – 5620	

¹ Nas bandas de frequências com largura de uma oitava, a razão entre as frequências centrais nominais consecutivas de ordem i e $i+1$ é igual a 2, ou seja, $f_{i+1}/f_i=2$. Relativamente às bandas de frequências com a largura de um terço de oitava esta razão é igual a $2^{1/3}$.

Como já foi referido anteriormente, a sensibilidade do ouvido humano varia, de forma não-linear, em função da frequência. Para avaliar esta resposta, são utilizadas as malhas de ponderação A, B, C, D e Z, de acordo com a norma internacional IEC 61672-1 (CEN,2003). Contudo, a curva de ponderação A é a mais utilizada por ser a que correlaciona mais eficazmente os valores medidos com a incomodidade ou trauma auditivo e segue a curva isofónica² de 40 fones³.

Pela observação da Figura 2.4, constata-se que a sensibilidade auditiva é menor para baixas frequências, aumentando nas médias e altas.

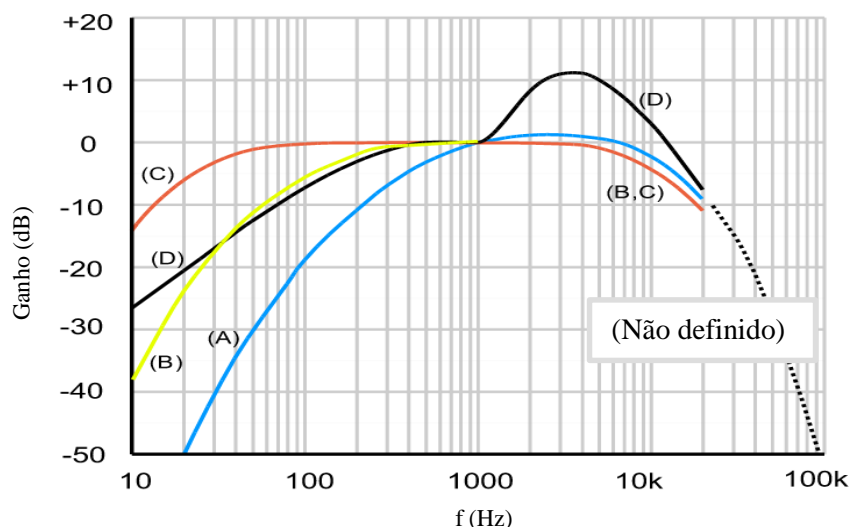


Figura 2.4 – Malhas de ponderação
(adaptado de [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves_\(1\).svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves_(1).svg))

2.4. NÍVEL DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORAS

Como já foi dito, os valores das grandezas no domínio da acústica, nomeadamente a pressão e a potência sonoras, são expressos em termos dos seus níveis, considerados relativamente a valores de referência. O nível de pressão sonora, representado em decibéis, é dado pela equação 2.5:

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{ef}^2}{p_{ref}^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (2.5)$$

Nesta equação, o quadrado do valor eficaz da pressão sonora, para um determinado intervalo de tempo t , definido por $(t_2 - t_1)$, é dado pela equação 2.6:

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [p(t)]^2 dt \quad (2.6)$$

² As linhas isofónicas unem pontos de igual intensidade sonora.

³ Um fone consiste numa unidade de medida sonora que reflete o nível de pressão sonora para uma frequência de 1000 Hz, considerando a avaliação subjectiva do ouvido humano.

No que respeita ao nível de potência sonora de uma determinada fonte ou equipamento, este é expresso em [dB(A)] e é dado pela equação 2.7:

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_{ref.}} \quad (2.7)$$

W é o valor da potência sonora da fonte ou equipamento.

O nível sonoro pretende traduzir a pressão sonora ponderada captada pelo ouvido humano, sob a forma de valor único e é expresso em [dB (A)]. Esta ponderação é feita pela equação 2.8:

$$L_{pi} = 10 \log_{10} \left(\sum_i 10^{0,1(L_{pi} + C_i)} \right) \quad (2.8)$$

Nesta equação, L_{pi} representa o nível de pressão sonora em cada uma das bandas de frequências i consideradas na medição e C_i representa as correcções relativas à ponderação da malha A, as quais, para medições efectuadas por bandas de frequências com a largura de um terço de oitava, se apresentam no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Correcções relativas à ponderação da malha A.

f (Hz)	Correcção C_i (dB)
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8
1000	-0,0
1250	-0,6
1600	1
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1
5000	0,5

Os equipamentos de medição de níveis de pressão sonora designam-se por sonómetros. Devido à incorporação de filtros de ponderação nestes aparelhos, que ajustam o sinal sonoro de

acordo com as malhas de ponderação existentes, é possível a quantificação de diferentes tipos de ruído industrial, ambiental e de aeronaves.

2.5. ABSORÇÃO SONORA

Segundo Odete (2006), a absorção sonora⁴ é a dissipação de energia sonora na superfície exposta de um material. Depende essencialmente da natureza das superfícies, do ângulo de incidência das ondas sonoras nessas superfícies e das condições de aplicação do sistema que integra o material. Contudo, este conceito pode ser encarado numa perspectiva mais ampla.

De forma genérica, existe um equilíbrio energético no choque de uma onda sonora com um elemento de compartimentação, como exprime a equação 2.9.

$$E_i = E_r + E_d + E_t \quad (2.9)$$

Nesta equação:

E_i – Energia sonora incidente;

E_r – Energia sonora reflectida;

E_d – Energia sonora dissipada (componente associada à absorção sonora);

E_t – Energia sonora transmitida.

A Figura 2.5 exhibe uma ilustração dos processos energéticos mencionados no choque de uma onda sonora com um elemento de compartimentação.

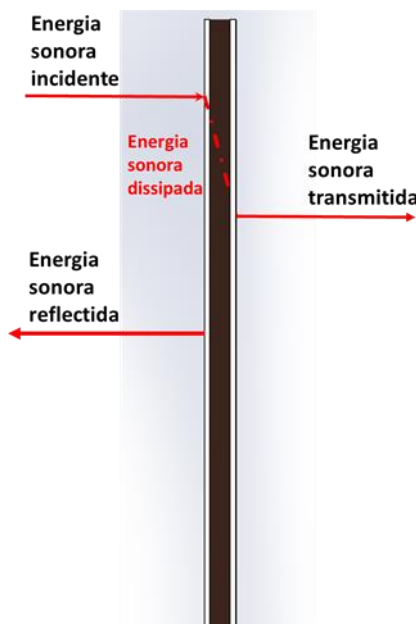


Figura 2.5 – Representação esquemática dos processos energéticos no choque de uma onda sonora com um elemento de compartimentação.

⁴ A norma NP 3225-1 (IPQ, 1986) define que a absorção sonora num meio consiste na redução de potência sonora por dissipação resultante da propagação do som nesse meio.

A absorção sonora é uma medida de qualidade acústica em espaços fechados.

“A quantificação da dissipação de energia sonora num determinado espaço fechado é efectuada com o recurso ao conhecimento do valor do tempo de reverberação⁵” (Patrício, 2010).

A equação 2.10, de Sabine, permite estimar o tempo de reverberação, em segundos, para campos sonoros difusos, isto é, campos onde existe igual pressão sonora média em todos os pontos:

$$T_r = \frac{0,16 V}{S \bar{\alpha}} \quad (2.10)$$

Nesta equação:

V – Volume, em m³;

S – Área de envolvente exposta, em m²;

$\bar{\alpha}$ – Coeficiente de absorção sonora médio do recinto.

O coeficiente de absorção sonora, α , é definido fisicamente pela razão entre a quantidade de energia que, num determinado intervalo de tempo, se dissipa numa dada área da superfície do material em causa e a energia que, durante o mesmo intervalo de tempo, incide nessa área de acordo com a equação 2.11.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (2.11)$$

Nesta equação:

E_a – Energia absorvida;

E_i – Energia incidente.

O método de caracterização experimental possibilita a determinação do coeficiente de absorção sonora de um elemento de compartimentação, no domínio da frequência, por bandas de terço de oitava, a partir de ensaio laboratorial de acordo com a norma portuguesa NP EN ISO 354 (IPQ, 2007) que contabiliza os tempos de reverberação medidos em câmara reverberante, como se ilustra pela equação 2.12.

$$\alpha = \frac{0,16 V}{A} * \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.12)$$

Nesta equação:

V – Volume da câmara (m³);

A – Área de superfície útil do protótipo para absorção sonora (m²);

⁵ O tempo de reverberação é o intervalo de tempo necessário para que o nível de pressão sonora diminua em 60 dB, após interrompida a emissão. É um parâmetro indicador da qualidade acústica de espaços fechados, sendo inclusivamente limitado em auditórios, cinemas, estúdios de televisão entre outros.

T_2 – Tempo médio de reverberação com o provete na câmara (s);

T_1 – Tempo médio de reverberação com a câmara vazia (s).

Segundo o disposto na norma EN ISO 11654 (CEN, 1997), os valores das bandas de oitava do coeficiente de absorção sonora médio, $\bar{\alpha}$, são calculados a partir dos resultados obtidos pela equação 2.12.

Em seguida, o procedimento recorre também ao cálculo do coeficiente de absorção sonora ponderado. Este parâmetro, representado por α_w , corresponde a um valor único e “*não permite caracterizar eficazmente o comportamento do material ou sistema⁶, o qual ocorre no domínio da frequência, sem qualquer lei descritiva (teórica ou experimental) que permita tratar com uniformidade esse mesmo comportamento*” (Patrício, 2010). Este raciocínio pode ser extrapolado ao índice de isolamento sonoro a sons aéreos, apresentado no capítulo seguinte.

A norma EN ISO 11654 (CEN, 11654) preconiza uma curva de referência, vd. Figura 2.6, que deve ser sobreposta à curva de medição realizada em laboratório, pelos valores de $\bar{\alpha}$ obtidos ao longo das bandas de frequências, de forma a que a curva de referência transladada se aproxime da curva de medição por passos de 0,05, para que a soma dos desvios desfavoráveis⁷ seja inferior ou igual a 0,10.

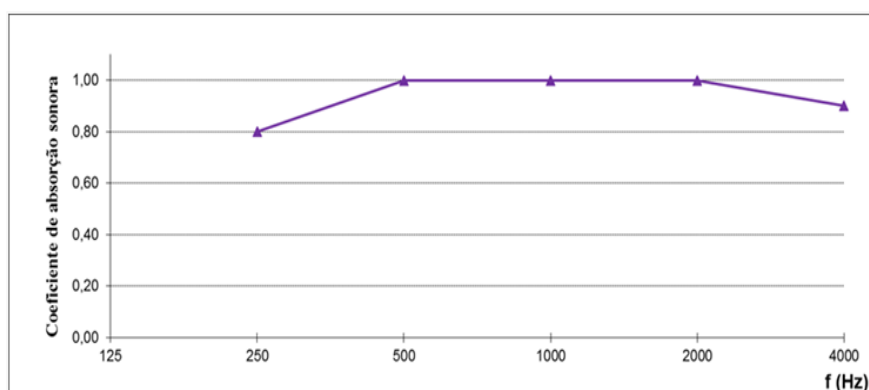


Figura 2.6 – Curva de referência utilizada no cálculo de α_w , na sua posição inicial.

Após este ajustamento, o valor do índice de absorção sonora, α_w , que corresponde ao valor da curva de referência na banda de oitava de frequências central de 500 Hz, determina a classe de absorção sonora.

Finalmente, paralelamente ao processo descrito, verifica-se no processo de ajustamento se existem desvios, em sentido favorável, maiores ou iguais a 0,25. Se a situação descrita ocorrer, deve ser apenas um factor de forma respeitando os seguintes critérios:

⁶ Um material é absorvente sonoro quando a absorção resulta apenas das características físicas deste e é um sistema sonoro quando a sua absorção depende essencialmente da sua ligação a outros elementos.

⁷ Um desvio é considerado desfavorável quando o valor da curva de medição é inferior ao da curva de referência. O raciocínio contrário pode ser aplicado a um desvio favorável.

– Se o desvio em sentido favorável ocorrer na banda de frequências de 250 Hz, utiliza-se o indicador de forma, L.

– Se o desvio em sentido favorável ocorrer nas bandas de frequências de 250 Hz ou 1 kHz, utiliza-se o indicador de forma, M.

– Se o desvio em sentido favorável ocorrer nas bandas de frequências de 1 kHz ou 4 kHz, utiliza-se o indicador de forma, H.

Para concluir a presente secção, ainda no âmbito da absorção sonora, abordam-se seguidamente, diversos materiais ou sistemas de revestimento que contribuem para a correcção acústica dos espaços:

- Materiais porosos;
- Sistemas ressonantes.

Os materiais porosos caracterizam-se pela sua capacidade de absorção de energia sonora, nas bandas das frequências médias e altas, por dissipação energética, sob a forma de calor, devido ao movimento oscilatório do ar (atrito) e por fricção interna das fibras. Estes materiais são geralmente leves, rugosos, com um elevado índice de vazios e com comunicação para o exterior. (Martins da Silva, 1978).

“A máxima eficácia no funcionamento destes sistemas é obtida com a colocação do material na posição em que a velocidade de vibração das partículas de ar é maior, permitindo reduzir a energia cinética da vibração correspondente” (Patrício, 2010).

São exemplos de materiais porosos as mantas ou placas semi-rígidas de fibras minerais (lãs de vidro, lãs de rocha), placas de aglomerado de cortiça e derivados, fibras de vidro com ligante, fibras de rocha vulcânica, fibras de celulose, aglomerados de fibras de madeira e materiais plásticos expandidos (poliuretano e poliestireno).

Relativamente aos sistemas ressonantes, que *“permitem, por absorção mecânica, dissipar a energia sonora em recintos fechados, e assim, alterar o tempo de reverberação nesses recintos”* (Patrício, 2010), subdividem-se em dois grupos. Os painéis ressonantes e ressoadores de *Helmholtz*.

Os painéis ressonantes constituem uma alternativa eficaz na correcção de espaços para as bandas de frequências baixas, quando o espaço de ar destinado ao preenchimento de material poroso começa a ser demasiado grande.

A equação 2.13 permite dimensionar a frequência de ressonância para um sistema deste tipo.

$$f_r \cong \frac{600}{\sqrt{md}} \quad (2.13)$$

Nesta equação:

m – massa superficial, em kg/m^2 ;

d – distancia de afastamento ao elemento rígido, em cm.

Contudo, os painéis ressonantes são bastante selectivos em termos de frequências (vd. Figura 2.7, curva 1), pelo que deve ser associado um material poroso no seu tardo; dessa forma o sistema poderá absorver energia sonora numa gama de frequências mais alargada (Figura 2.7, curva 2).

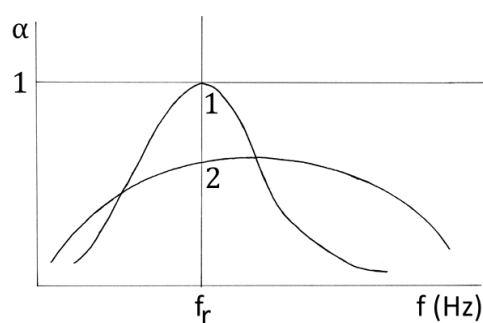


Figura 2.7 – Comportamento de um painel ressonante sem (1) ou com (2) material poroso no seu tardo, relativamente à absorção sonora.

Os ressoadores de *Helmholtz* são definidos por uma pequena cavidade acústica, de configuração semelhante à da ilustração da Figura 2.8, e são aplicados na correcção de espaços na gama das frequências médias.

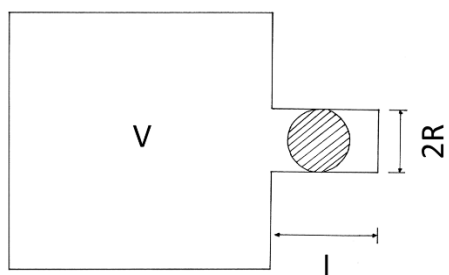


Figura 2.8 – Ressonador de *Helmholtz*.

“Um ressoador é reologicamente modelado por um sistema massa-mola, com amortecimento, em que o ar no gargalo corresponde ao elemento massa, o ar contido no corpo do

ressoador ao elemento mola e os mecanismos de dissipação de energia por atrito ao amortecimento respectivo” (Patrício, 2010).

A equação 2.14 permite dimensionar a frequência de ressonância para este tipo de sistema.

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{IV}} \quad (2.14)$$

À semelhança dos painéis ressonantes, a selectividade deste sistema também é colmatada com o preenchimento de material poroso nas paredes interiores da sua cavidade.

Em suma, no que concerne a correcção acústica, existem diferentes soluções que actuam em diferentes gamas de frequências:

Baixas frequências – Sistema de painel ressonante;

Médias frequências – Furação no revestimento e cavidades análogas a ressoadores de *Helmholtz*;

Altas frequências – Material poroso como “amortecedor vibracional”.

A ilustração da Figura 2.9 ilustra o comportamento dos sistemas referidos.

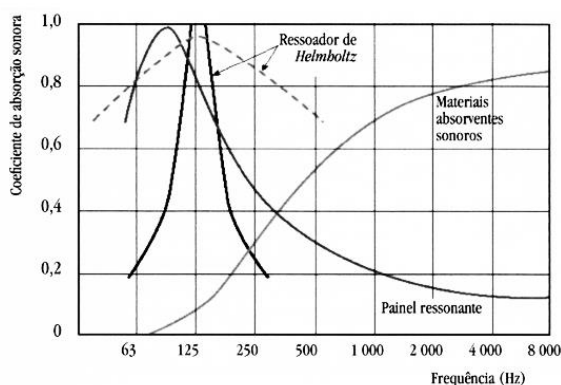


Figura 2.9 – Ilustração da evolução da absorção sonora em sistemas compostos.

Assim sendo, o aumento da absorção sonora, num recinto fechado, contribui para a redução de reflexões indesejadas, o que se traduz na diminuição do tempo de reverberação. Essa diminuição, do tempo de reverberação influencia a inteligibilidade da palavra, o que poderá ser extremamente vantajoso, por exemplo, para uma sala de aula.

A escolha de revestimentos é portanto preponderante em projecto, uma vez que influencia as condições de conforto acústico no interior dos edifícios.

2.6. ISOLAMENTO SONORO

A regulamentação nacional vigente relativa à acústica de edifícios considera dois tipos de isolamento sonoro: o isolamento sonoro a sons aéreos e o isolamento sonoro a sons de percussão.

O primeiro tipo está associado à excitação directa do ar por fonte sonora. São exemplos o tráfego verificado nas metrópoles (rodoviário, ferroviário, aéreo) e a maior parte do ruído que é emitido pelas actividades quotidianas.

O segundo tipo têm origem na excitação de um meio sólido e deriva de uma acção de impacto. A queda de um objecto, o arrastamento de móveis ou o martelar são exemplos de acções de choque que induzem a propagação de ruído através de elementos rígidos que compõem a envolvente de um edifício, nomeadamente paredes, pavimentos entre outros.

A Figura 2.10 ilustra esquematicamente os dois tipos de som referidos e o seu impacto qualitativo na envolvente.

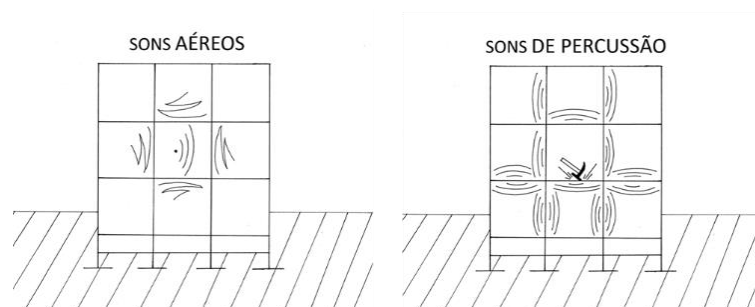


Figura 2.10 – Impacto qualitativo dos sons aéreos e percussão na envolvente.

Devido ao âmbito do presente trabalho, considerou-se apenas o domínio do primeiro tipo de sons. Nesse sentido, definem-se em seguida os principais índices de isolamento sonoro a sons aéreos:

$D_{2m,nT,w}$ – Índice normalizado que traduz o isolamento da envolvente exterior do edifício (fachada), quando, em processo de medição, se coloca o microfone a 2 metros dessa superfície. O termo “nT” refere-se à necessidade de haver uma normalização do isolamento para um tempo de reverberação de referência (normalmente 0,5s em projecto). O termo w relaciona-se com o facto do valor deste parâmetro se apresentar sob a forma de valor único ou índice. Este índice não terá aplicação direta ao módulo em análise.

$D_{nT,w}$ – Índice normalizado que traduz o isolamento que deve ser assegurado pelos elementos de compartimentação interiores, horizontais (pavimentos) ou verticais (paredes). Os termos em *subscript* têm o mesmo significado indicado anteriormente.

R_w – Índice de isolamento sonoro determinado em laboratório, que possibilita comparações de desempenho entre diferentes elementos de construção de edifícios.

R'_w – Índice de isolamento sonoro aparente que integra a transmissão que ocorre por via marginal.

No laboratório de acústica do LNEC, local onde foram realizados todos os ensaios de isolamento sonoro, a energia transmite-se à câmara recetora através do sistema a ensaiar (por Transmissão Directa), bem como a paredes, portas, pavimento, tecto e suas intercepções (Transmissão Lateral e Indirecta). A Figura 2.11 ilustra uma representação esquemática, em planta, dos percursos possíveis de transmissão de energia sonora entre os dois compartimentos adjacentes, com o módulo posicionado na abertura de ensaio.

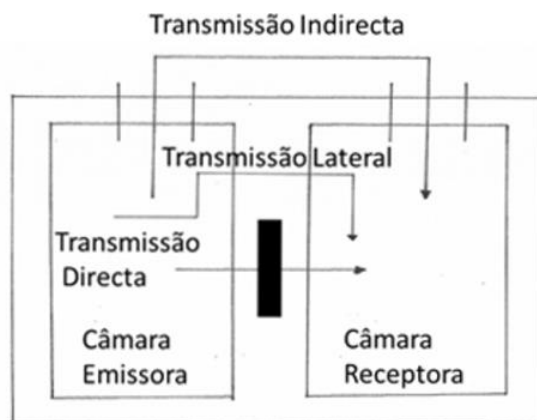


Figura 2.11 – Transmissão aérea entre dois compartimentos no LNEC.

Contudo, a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010) considera que a energia sonora transmitida por via marginal (Transmissão Lateral e Indirecta) deve ser desprezável comparativamente aquela que se transmite por via directa. Caso contrário, os resultados têm de ser corrigidos (Secção 5.2). Acresce ainda referir que a caracterização experimental foi realizada em câmaras reverberantes onde se assume a presença de um campo difuso, o que significa que existe a mesma pressão sonora média em todos os pontos do espaço e ocorrem múltiplas reflexões.

A evolução do isolamento sonoro com a frequência para elementos de compartimentação obedece à representação esquemática apresentada na Figura 2.12.

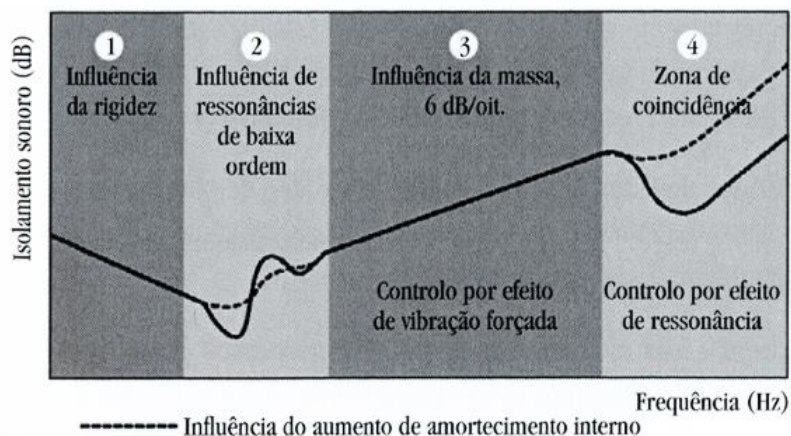


Figura 2.12 – Evolução do isolamento sonoro para elementos de compartimentação.

“O isolamento a sons aéreos de sistemas planos e homogêneos depende da inércia, da massa e das características elásticas (rigidez e amortecimento interno) dos elementos definidores da compartimentação considerada”. (Patrício, 2010)

Como se verá em seguida, utilizou-se o método de caracterização experimental ISO/CEN para a quantificação do isolamento sonoro assegurado pelo protótipo. Existem outros métodos de medição, como o método da halografia acústica e o método da intensimetria sonora e diversos métodos de estimação, baseados em modelações teóricas e frequentemente apoiados por programas de cálculo automático, não abordados no presente contexto.

O método de caracterização experimental ISO/CEN, de acordo com as normas internacionais EN ISO 10140-1 (CEN, 2010), EN ISO 10140-2 (CEN, 2010), EN ISO 10140-4 (CEN, 2010) e EN ISO 10140-5 (CEN, 2010) obedece à disposição da Figura 2.13 e permite a quantificação dos índices mencionados, $D_{2m,nT,w}$, $D_{nT,w}$ e R_w segundo o disposto na norma NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013).

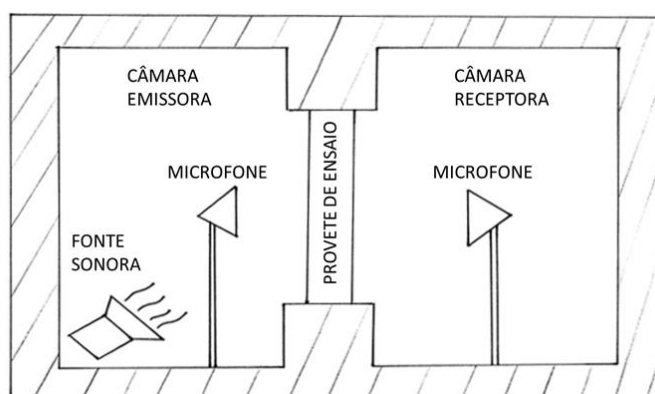


Figura 2.13 – Ilustração esquemática do ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos.

Para medições em laboratório utilizando os níveis de pressão sonora, a curva de perdas de transmissão sonora é calculada pela equação 2.15:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \text{ LOG} \left(\frac{S}{A} \right) [\text{dB}] \quad (2.15)$$

Nesta equação:

L_1 – Nível de pressão sonora médio na câmara emissora, em dB;

L_2 – Nível de pressão sonora médio na câmara receptora, em dB;

S – Área do provete de ensaio⁸, em m²;

A – Área de absorção sonora equivalente da câmara receptora⁹, em m²;

⁸ Também designada de área de superfície útil do provete.

⁹ A medição deste parâmetro contabiliza os tempos de reverberação, na câmara receptora, de acordo com a norma EN ISO 354.

O índice de isolamento sonoro, R_w , calcula-se pela sobreposição entre os valores obtidos pela equação 2.15 e os valores da descrição convencional de referência, apresentados no Quadro 2.4, de forma a que o valor médio do desvio em sentido desfavorável, “calculado por divisão da soma dos desvios nesse sentido (desfavorável) pelo número total de bandas de frequências consideradas no processo de medição (diagrama), deve ser o mais elevado possível, todavia sem ultrapassar o valor de 2 dB” (Patrício, 2010), como o exemplo gráfico da Figura 2.14.

Quadro 2.4 – Descrição convencional de referência.

f (Hz)	Curva de referência (dB)	f (Hz)	Curva de referência (dB)
100	33	630	53
125	36	800	54
160	39	1000	55
200	42	1250	56
250	45	1600	56
315	48	2000	56
400	51	2500	56
500	52	3150	56

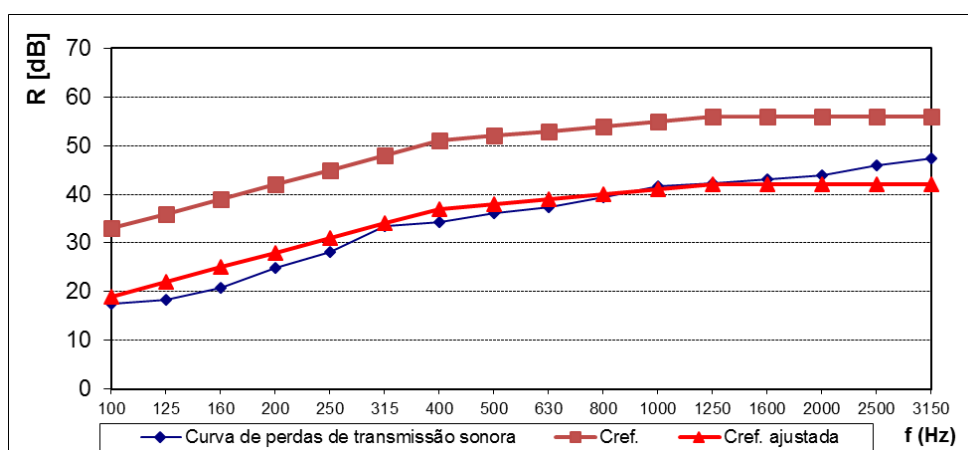


Figura 2.14 – Exemplo de um ajustamento entre a curva de perdas de transmissão sonora e a descrição convencional de referência.

Após a execução do referido ajuste, o índice de isolamento sonoro¹⁰, R_w , corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para bandas de frequências de 500 Hz.

No entanto, “A normalização em vigor aponta especificamente para a utilização de curvas de perdas de transmissão determinadas a partir de medições realizadas por bandas de frequências com largura de 1/3 de oitava” (Patrício, 2010).

Acresce ainda referir que, a caracterização do desempenho de elementos de construção conta ainda com a inclusão de dois termos de adaptação espectral, C e C_{tr} .

¹⁰ Uma vez mais, salienta-se o facto de esta avaliação (à custa de um valor único) ser um método pouco fiável, já que dois sistemas diferentes, naturalmente com curvas de perdas de transmissão sonora distintas, podem ter um índice de isolamento sonoro semelhante.

Estes dois valores autónomos intervêm na correcção do valor do índice de isolamento sonoro determinado em laboratório, R_w , contabilizando dois espectros específicos diferentes. O espectro n.º 1 corresponde ao espectro de ruído rosa¹¹ e o espectro n.º 2 corresponde ao espectro de tráfego urbano (vd. Figura 2.15), ambos expressos em [dB(A)]. Com estas correcções é possível estimar o valor do isolamento sonoro a sons aéreos *in situ*.

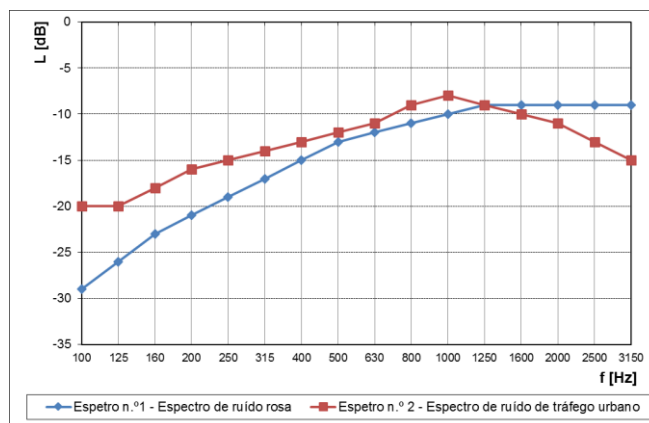


Figura 2.15 – Espectros para o cálculo dos termos de adaptação espectral por bandas de frequências com largura de um terço de oitava, ponderados pela malha A.

Transpõe-se no Quadro 2.5 o Quadro A.1 da norma NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013).

Quadro 2.5 – Termos de adaptação espectral apropriados para diferentes tipos de fontes de ruído.

Tipo de fonte sonora	Termo de adaptação espectral
Actividades quotidianas (conversação, música, rádio, TV) Crianças a brincar Tráfego ferroviário de média e alta velocidade ^{a)} Tráfego rodoviário a velocidade > 80 km/h ^{a)} Aeronave a jacto, a curta distância Ruído industrial de médias e altas frequências	C (espectro n.º1)
Tráfego rodoviário urbano Tráfego rodoviário de baixa velocidade ^{a)} Aeronave propulsão a hélice Aeronave a jacto, a longa distância Discotecas Ruído industrial de baixas e médias frequências	C _{tr} (espectro n.º2)

a) Em vários países Europeus existem modelos de cálculo para ruído de tráfego rodoviário e ferroviário que permitem prever níveis de emissão sonora, por bandas de frequências de oitava, os quais poderão ser utilizados para comparar com os espectros n.º1 e n.º2.

Para o cálculo dos termos de adaptação espectral em [dB], utilizam-se os espectros indicados e a equação 2.16.

¹¹ Ruído representado por espectro para a qual o nível de pressão sonora decresce em 3 dB quando integrado por bandas de frequências com a largura de uma oitava.

$$C_j = X_{Aj} - R_w \quad (2.16)$$

Nesta equação:

j – Índice de identificação dos espectros em causa, espectro n.º 1 ou espectro n.º 2;

R_w – Índice de isolamento sonoro calculado a partir dos valores de R ;

e o valor X_{Aj} calculado pela equação 2.17

$$X_{Aji} = -10 \text{ LOG } \sum 10^{\left(\frac{L_{ij} - X_i}{10}\right)} \quad (2.17)$$

Onde:

i – é o índice para as bandas de frequências com a largura de um terço de oitava de 100 Hz a 3150 Hz, como utilizado no presente trabalho, ou para bandas de frequências de uma oitava, de 125 Hz a 2000 Hz;

L_{ij} – São os níveis de pressão sonora referidos anteriormente, para a banda de frequências i e espectro j ;

X_i – é a redução sonora R_i para a banda de frequências i , aproximado a menos de 0,1 dB.

Para concluir, apresenta-se um exemplo da caracterização de desempenho acústico de um elemento de compartimentação de acordo com o exposto:

- $R_w (C; C_{tr}) = 38 (-2; -6)$ [dB];
- $R_w = 38 - 2 = 36$ [dB(A)] para ruído rosa;
- $R_w = 38 - 6 = 32$ [dB(A)] para ruído de tráfego rodoviário.

2.7. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA APLICÁVEL

O Regulamento Geral das Edificações Urbanas, também denominado por RGEU (INCM, 1951, 2001), foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 38382, de 7 de Agosto de 1951, com a recente alteração pelo Decreto-Lei n.º 177/2001, de 4 de Junho, e aborda questões indispensáveis para o presente trabalho, nomeadamente requisitos mínimos mandatórios do pé direito nas edificações.

No RGEU – CAPÍTULO III – Disposições interiores das edificações e espaços livres, ARTIGO N.º 65, é referido:

1- A altura mínima, piso a piso, em edificações destinadas à habitação é de 2,70 m, não podendo ser o pé-direito livre mínimo inferior a 2,40 m.

2- Excepcionalmente, em vestíbulos, corredores, instalações sanitárias, despensas e arrecadações será admissível que o pé-direito se reduza ao mínimo de 2,20 m.

3- O pé-direito livre mínimo dos pisos destinados a estabelecimentos comerciais é de 3 m.

4- Nos tectos com vigas, inclinados, abobadados ou, em geral, contendo superfícies salientes, a altura piso a piso e ou o pé-direito mínimo, definidos nos n.ºs 1 e 3, devem ser mantidos, pelo menos, em 80% da superfície do tecto, admitindo-se na superfície restante que o pé-direito livre possa descer até ao mínimo de 2,20 m ou de 2,70 m, respectivamente, nos casos de habitação e de comércio.

Em média, o pé direito dos edifícios da cidade de Lisboa está compreendido entre 2,40 m e 2,70 m podendo chegar a 3,00 m como é o caso dos edifícios mistos de alvenaria e betão armado datados de 1930 a 1940 – Categoria D – segundo a Tipificação do Parque Habitacional (Oliveira et al., 1985). Nos subúrbios de Lisboa, o pé direito ascende a 2,50 m em média. Globalmente, o pé direito de um edifício relaciona-se com o clima, com as disponibilidades em termos de recursos e com o tipo de utilização. Os Países mais quentes tendem a ter pés direitos mais altos do que os países mais frios, por questões de comodidade. O pé direito surge também muitas vezes associado a sistemas de arrefecimento solar passivo, que permitem a manutenção de temperaturas interiores para níveis bastante comportáveis. É portanto uma característica de grande importância, especialmente no presente contexto, que influenciará decisivamente as dimensões de futuros protótipos a serem materializados.

Regulamentação Acústica

A legislação vigente em Portugal, ao nível da acústica, incide maioritariamente em quatro áreas de conhecimento: o Ruído Ambiente, a Exposição ao Ruído, as Vibrações no Corpo Humano e a Acústica de Edifícios. Contudo, considerando o presente trabalho, apenas se teve em linha de conta aspectos que incluem a primeira e a última áreas citadas.

O actual enquadramento legal do ruído¹², instituído pelo Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho (e sua Rectificação n.º 57/2006), que procede à transposição para o ordenamento jurídico interno da Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, e pelo Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto, que altera o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro (e a sua Rectificação n.º 18/2007), que aprova o Regulamento Geral do Ruído (RGR)¹³, uma das bases que visa a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações.

¹² http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/ApresentacaoNovoQuadroLegal.pdf

¹³ <http://dre.pt/pdfs/2007/01/01200/03890398.pdf>

No que diz respeito à Acústica de Edifícios, o Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio, aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)¹⁴, com as alterações do Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho. Considera-se relevante, no presente trabalho, transpor o conteúdo do Artigo 5.º – Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, e o Artigo 6.º – Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais, do regulamento referido devido à aplicabilidade do módulo desenvolvido.

De acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios,

Artigo 5.º - Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras:

“1 - Os edifícios e as suas fracções que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m, nT, w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve satisfazer o seguinte:

i) $D_{2m, nT, w} \geq 33$ dB, em zonas mistas ou em zonas sensíveis¹⁵ reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

ii) $D_{2m, nT, w} \geq 28$ dB, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

iii) Os valores limite dos índices referidos nas subalíneas i) e ii) são acrescidos de 3 dB, quando se verifique o disposto no n.º 7 do artigo 12.º do Regulamento Geral do Ruído;

iv) Quando a área translúcida for superior a 60% do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m, nT, w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo-se os limites das subalíneas i) e ii);

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT, w}$, entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

$D_{nT, w} \geq 50$ dB;

¹⁴ <http://www.dre.pt/cgi/dr1s.exe?t=dr&cap=1-1200&doc=20081287&v02=&v01=2&v03=1900-01-01&v04=3000-12-21&v05=&v06=&v07=&v08=&v09=&v10=&v11=%27Decreto-Lei%27&v12=&v13=&v14=&v15=&sort=0&submit=Pesquisar>

¹⁵ Por zonas sensíveis entende-se o conjunto de áreas definidas em plano municipal de ordenamento do território vocacionadas para uso habitacional, escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer. As zonas mistas incluem, além das anteriores, zonas de comércio e serviços.

c) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

i) $D_{nT,w} \geq 48 \text{ dB}$;

ii) $D_{nT,w} \geq 40 \text{ dB}$, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

iii) $D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$, se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel;

d) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

$D_{n,w} \geq 58 \text{ dB}$;

e) (...);¹⁶

f) (...);

g) (...);

h) (...);

2 - Nas unidades hoteleiras e para efeito de aplicação dos requisitos das alíneas anteriores, deverá considerar-se que cada quarto equivale a um fogo.

3 - A determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$ ou $D_{nT,w}$, (...), deve ser efectuada em conformidade com o disposto na normalização portuguesa aplicável ou, caso não exista, na normalização europeia ou internacional.

4 - (...);

5 - Nas avaliações in situ destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um factor de incerteza, I , associado à determinação das grandezas em causa.

6 - O edifício, ou qualquer dos seus fogos, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando, cumulativamente:

¹⁶ O texto omitido pelo símbolo (...) incide no domínio do Isolamento Sonoro a Sons de Percussão, não relevante para o presente contexto.

a) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$ ou $D_{nT,w}$, acrescido do factor I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar;

b) (...);

c) (...);

7 - O ruído proveniente do funcionamento de equipamentos de carácter privativo, como sejam os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, adstritos a uma determinada fracção habitacional, deve ser enquadrado no disposto no artigo 24.º do Regulamento Geral do Ruído.

8 - Para efeitos de licenciamento de actividades comerciais, industriais e de serviços, em edifícios existentes à data de entrada em vigor do presente Regulamento, aplicam-se os requisitos de isolamento sonoro constantes do presente artigo.

9 - Aos edifícios situados em zonas históricas que sejam objecto de acções de reabilitação, mantendo a mesma vocação de uso e a mesma identidade patrimonial, podem aplicar-se os requisitos constantes das alíneas b) a g) do n.º 1, com uma tolerância de 3 dB.

Artigo 6.º - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais

1 - Os edifícios que se destinem a usos comerciais ou de prestação de serviços, ou partes análogas integradas em edifícios industriais, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os locais tipificados no Quadro 2.6 ao presente Regulamento, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

i) $D_{2m,nT,w} \geq 30$ dB, para os escritórios;

ii) $D_{2m,nT,w} \geq 25$ dB, para os restantes recintos;

iii) Quando a área translúcida for superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$, o termo de adaptação apropriado, C ou C_{tr} , conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo-se os limites das subalíneas i) e ii);

b) (...);

c) (...);

d) (...);

i) (...); ii) (...);

2 - A determinação do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, (...), do tempo de reverberação, T , deve ser efectuada em conformidade com o disposto na normalização portuguesa aplicável ou, caso não exista, na normalização europeia ou internacional.

3 - (...); 4 - (...);

5 - O edifício, ou qualquer das suas fracções, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando, cumulativamente:

a) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, acrescido do factor I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar;

b) (...); c) (...);

d) O valor obtido para o tempo de reverberação, T , diminuído do factor I no valor de 25% do limite regulamentar, satisfaça o limite regulamentar. ”

Quadro 2.6 – Corresponde ao Quadro I dos anexos do RRAE.

[a que se refere o artigo 6.º, n.º 1, alíneas a), b) e c)]

Locais	Tempo de reverberação (500 Hz — 2 kHz)
Refeitórios ou recintos públicos de restauração Escritórios ($V \geq 100 \text{ m}^3$).	$T \leq 0,15 V^{1/3} \text{ [s]}$ $T \leq 0,15 V^{1/3} \text{ [s]}$

V = volume interior do recinto em causa.

Como já foi mencionado anteriormente, o produto a ser desenvolvido a partir do protótipo ensaiado irá ter a sua aplicação no interior de edifícios, pelo que, de acordo com a legislação portuguesa exposta, não existem critérios a verificar.

3. DIVISÓRIAS LEVES PRÉ-FABRICADAS

Neste capítulo apresentam-se duas soluções de compartimentação estudadas. A sua comparação, relativamente ao desempenho de isolamento sonoro a sons aéreos, com o protótipo ensaiado é realizada no capítulo 6. Descrevem-se também as vantagens de utilização deste tipo de soluções aligeiradas e faz-se uma breve abordagem ao sistema de marcação CE.

3.1. SOLUÇÕES COMERCIALIZADAS

As soluções utilizadas actualmente na compartimentação interior de edifícios podem ser agrupadas em dois grandes grupos. As divisórias fixas, por norma sistemas integrados, e as divisórias móveis, tipicamente suspensas à calha que permite a sua mobilidade, que são sistemas versáteis que dividem espaços temporários de forma rápida.

Desse modo, para uma melhor compreensão destes sistemas, visitaram-se as instalações de duas empresas. A DIVILUX – Divisão de Espaço, que representa o primeiro grupo mencionado, com divisórias fixas, e a PCTS – Intelligent Spaces, que representa o segundo grupo, já que comercializa soluções modelares tipo TURNKEY (<http://www.pcts.pt/index.php/solutions>)

À semelhança do conceito modelar desenvolvido neste trabalho, foram consideradas apenas soluções que têm a capacidade de ocupar a totalidade do pé direito.

3.1.1. Empresa Divilux – Divisão de Espaço.

A empresa DIVILUX dedica-se à produção de divisórias de sistema integrado.

A linha de produtos comercializados contempla a METRICA, UNICA E RITMICA (http://www.diviluxbusiness.com/proposta1/wp-content/uploads/2014/06/divilux_unica-metrica-cubica.pdf) que têm por base *know-how* italiano e foram desenvolvidas com base nas necessidades dos clientes.

A MÉTRICA é um produto de múltiplas soluções, como se pode verificar na Figura 3.1, que inclui uma vasta selecção de perfis e acabamentos com alto nível de funcionalidade. Constitui uma divisória com 104mm de espessura total, composta por uma estrutura amovível em perfis verticais de chapa zincada, perfilados mecanicamente, e reforçada horizontalmente. As tipologias opacas são constituídas por painéis em aglomerado de madeira revestidos a folha melamínica.

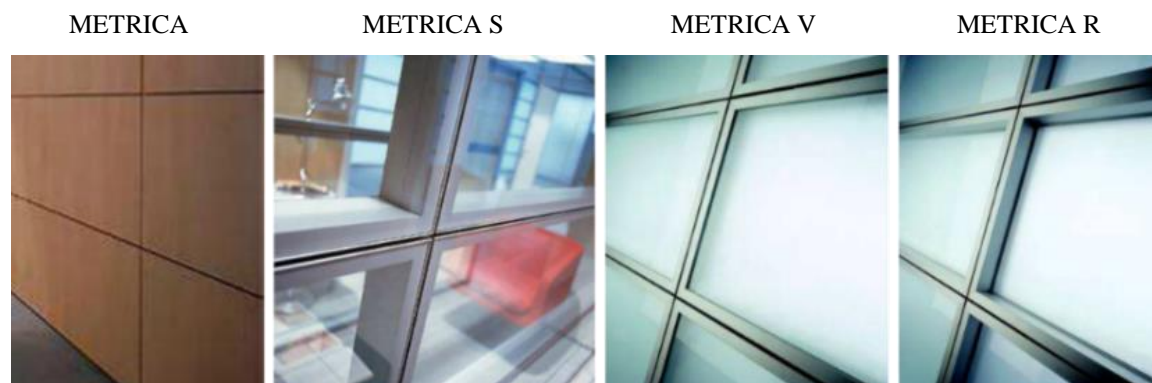


Figura 3.1 – Tipologias da solução METRICA.

METRICA – Divisória composta por painéis opacos em aglomerado de madeira enobrecido com folha melamínica;

METRICA S – Divisória composta por vidro duplo à superfície exterior do perfil;

METRICA V – Divisória composta por vidro duplo em caixilho;

METRICA R – Divisória composta por módulos de vidro central.

Algumas destas tipologias ilustram-se na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Implantação da solução METRICA.

As tipologias de vidro são constituídas por caixilho em liga de alumínio e por vidro temperado ou laminado. As portas estão disponíveis nas opções de batente ou de correr, podendo ser fornecidas na altura *standard* ou na altura total da divisória.

3.1.2. Empresa Pcts – Intelligent Spaces.

A PCTS é uma empresa de engenharia que prima pela pesquisa, desenvolvimento e inovação de paredes amovíveis. A empresa permite que o cliente final registre a sua marca, utilizando os seus próprios produtos. Comercializam maioritariamente soluções TURNKEY, vd. Figura 3.3, Figura 3.4 e Quadro 3.1, que consistem num conjunto de painéis dotados de um

sistema de deslocamento que, após o fecho, formam uma parede. Comercializam-se duas versões, a Divisória Manobrável Automática e a Divisória Semi-Automática.

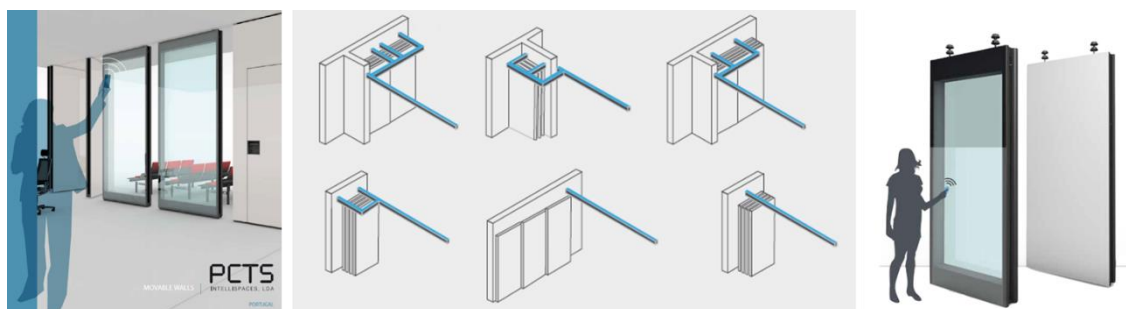


Figura 3.3 – Apresentação e disposições possíveis da solução TURNKEY.



Figura 3.4 – Tipologias da solução TURNKEY.

Quadro 3.1 – Especificações das diferentes tipologias TURNKEY

Principais tipos de painel de parede		
Tipo	Altura máximas (mm)	Largura (mm)
Painel telescópica	6000	800-1250
Passe porta do painel duplo Folha	6000	1350
Passe porta única folha painel	6000	1350
Painel sólido padrão	6000	800-1250
Painel vitrificada	4000	800-1250

Com este sistema de divisórias móveis é possível a configuração de diferentes compartimentações para o mesmo espaço, de forma rápida e precisa, como ilustra a Figura 3.5. No entanto existe sempre a restrição aos posicionamentos pré-estabelecidos pelas calhas na definição da espacial.

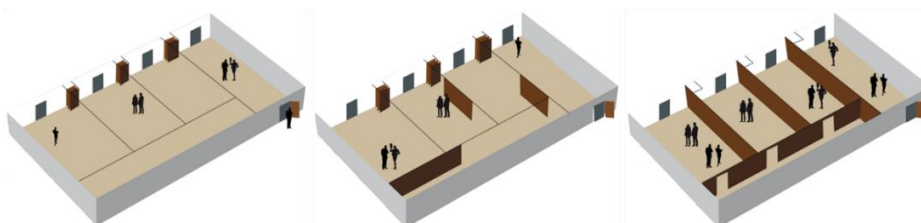


Figura 3.5 – Possibilidades de compartimentação num *open-space*.

De forma sintética, os princípios base comuns a este tipo de sistemas amovíveis são:

- estes sistemas exigem pré-instalação com recurso a mão-de-obra especializada;

- o sistema de compartimentação é composto por painéis independentes que correm sobre um sistema de batente, tipicamente no topo, e que podem ser personalizados pelo cliente;
- a utilização pode ser feita de forma manual com recurso a uma manivela ou de forma automática;
- os painéis podem ser arrumados de forma a encostarem entre si e, desde modo, não fiquem visíveis— ou ainda ser interligados de forma contínua, dobrando entre si para a arrumação;
- a existência de calha junto ao tecto ou no pavimento permite o movimento dos painéis e o seu alinhamento;
- o sistema de Guilhotina permite que o operador fixe cada painel (<http://www.pcts.pt/index.php/products>).

3.1.3. Vantagens de utilização de sistemas pré-fabricados

As paredes divisórias interiores da grande generalidade de edifícios em Portugal são constituídas por alvenaria e, por norma, não possuem qualquer material de isolamento acústico incorporado entre os seus paramentos. A solução mais tradicional utilizada na compartimentação interior consiste em panos de tijolo de 7 cm, por vezes 11cm, rebocado em ambas as faces. É factual que esta solução revela um comportamento aceitável ao nível do isolamento sonoro a sons aéreos devido à sua elevada massa¹⁷; contudo a sua construção é frequentemente morosa, tem um custo assinalável e não permite um controlo de qualidade do produto acabado. Por outro lado, a utilização de sistemas aligeirados permitem uma redução significativa da massa global de um edifício, o que levará a um melhor comportamento estrutural deste. O facto de estes sistemas serem constituídos por elementos ligeiros pré-fabricados facilmente aplicáveis em obra reduz os custos de mão-de-obra e prazos, aumenta o espaço utilizável do edifício (área útil) e permite a alteração de espaços temporários sem recurso a demolição. São soluções limpas que oferecem facilidade de reparação e substituição de componentes danificados. A versatilidade destas soluções permite também o aumento do isolamento térmico (se aplicável), acústico e protecção ao fogo na construção, devido aos materiais que empregam, principalmente materiais porosos de preenchimento, serem incombustíveis. Pelas razões citadas são, cada vez mais, uma opção a utilizar, quer em construção nova, quer em reabilitação de edifícios existentes - tendo mais relevância neste último caso.

¹⁷ Uma das abordagens mais tradicional e simplificada utilizada na estimativa do índice de isolamento sonoro a sons aéreos é a lei da massa, que assume que o sistema se comporta como um conjunto de massas infinitas justapostas que se movem independentemente e sem a influência de amortecimento (TADEU et al.,2003).

3.2. MARCAÇÃO CE

O Regulamento (UE) N.º 305/2011 e a sua Retificação do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011, estabelece condições harmonizadas (de acordo com as diretivas da Nova abordagem¹⁸) para a comercialização de produtos de construção e revoga a Diretiva 89/106/CEE do Conselho, correntemente designada por Diretiva dos Produtos de Construção¹⁹. Abrangem-se todos os produtos de construção destinados a ser incorporados ou aplicados, de modo permanente, numa obra de engenharia civil e aos quais diga respeito uma ou mais exigências essenciais.

Os produtos devem estar aptos ao uso a que se destinam, satisfazendo pelas suas características, os seguintes requisitos básicos das construções:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndio;
- Higiene, saúde e ambiente;
- Segurança e acessibilidade na utilização;
- Protecção contra o ruído;
- Economia de energia e isolamento térmico;
- Utilização sustentável de recursos naturais (Análise do ciclo de vida dos produtos).

Quando um produto cumpre todas as exigências mencionadas, o fabricante pode solicitar a aposição da marcação CE, *Conformité Européenne*. A marcação CE, vd Figura 3.6, é um indicador de desempenho de um produto com a legislação da UE e permite a livre circulação de produtos no Espaço Económico Europeu²⁰.



Figura 3.6 – Logotipo da Marcação CE.

¹⁸ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:PT:PDF>

¹⁹ Também designada por DPC, de 21 de dezembro de 1988, com última alteração pelo Decreto-Lei n.º 130/2013 de 10 de setembro, www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao.

²⁰ EEE – Constituído pelos 28 Estados Membros da União Europeia e pelos países que integram a European Free Trade Association (EFTA), nomeadamente a Noruega, o Liechtenstein, a Islândia e a Suíça.

Os produtos colocados no mercado terão de estar de acordo com as exigências expressas nos documentos de avaliação europeus cumprindo requisitos essenciais (Segurança, Saúde, Ambiente) e em linha com as especificações técnicas harmonizadas²¹ (Normas Europeias harmonizadas ou Aprovações Técnicas Europeias - ETA). Os Organismos Notificados (ON) e os Organismos de Avaliação Técnica (OAT)²² são também instrumentos indispensáveis na implementação da marcação CE. É da responsabilidade do fabricante todo o processo de obtenção da conformidade do produto com o desempenho declarado. No Quadro 3.2. ilustram-se os 5 sistemas de avaliação do desempenho para as diversas tipologias de produtos.

Quadro 3.2 – Sistemas de avaliação de desempenho.

Sistema	Tarefas do Fabricante	Tarefas do Organismo Notificado	Base para a Marcação CE
1+ (Certificação)	– Controlo interno da produção; – Ensaio de amostras segundo programa prescrito.	Certificação do produto com base em: – Ensaio de tipo iniciais; – Inspeção inicial do controlo interno da produção; – Acompanhamento permanente do controlo interno da produção; – Ensaio aleatório de amostras.	– Declaração de desempenho* pelo fabricante com base num certificado de desempenho do produto.
1 (Certificação)	– Controlo interno da produção; – Ensaio de amostras segundo programa prescrito.	Certificação do produto com base em: – Ensaio de tipo iniciais; – Inspeção inicial do controlo interno da produção; – Acompanhamento permanente do controlo interno da produção.	
2+ (Inspeção)	– Ensaio de tipo iniciais; – Controlo interno da produção; – (Ensaio de amostras segundo programa prescrito).	– Certificação do controlo interno da produção com base numa inspeção inicial e no acompanhamento permanente desse controlo.	– Declaração de desempenho* pelo fabricante com base num certificado de desempenho do controlo interno da produção.
3 (Laboratório de ensaios)	– Controlo interno da produção.	– Ensaio de tipo iniciais.	– Declaração de desempenho* pelo fabricante.
4	– Ensaio de tipo iniciais; – Controlo interno da produção.		

* A Declaração de Desempenho é a peça central resultante do procedimento de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto e base indispensável para a marcação CE dos produtos de construção com vista à sua livre circulação no Espaço Económico Europeu.

²¹ Único meio para o fabricante avaliar o produto e elaborar a declaração de desempenho.

²² <http://www.enterpriseeuropenetwork.pt/info/mercadounico/Paginas/marcacaoce.aspx>.

Deste modo, um futuro produto a ser constituído a partir do protótipo ensaiado na presente dissertação, teria de seguir a via ETA, já que não existe uma Norma Europeia harmonizada aplicável. As ETA cobrem essencialmente produtos complexos e sistemas (KITS), enquanto o conjunto das normas harmonizadas cobrem predominantemente materiais de construção simples já que constituem especificações técnicas de âmbito geral. Assim, a ETA do referido módulo para compartimentação contemplaria a definição do futuro produto inovador, com as suas características (função inerente a uma especificação técnica harmonizada) e uma apreciação favorável da sua aptidão ao uso. Os organismos representativos dos estados-membros que concedem as Aprovações Técnicas Europeias são designados EOTA²³. O LNEC representa Portugal na EOTA e pode publicar Documentos de Homologação. Estas Aprovações Técnicas Europeias podem ser aceites com base em Guias de Avaliação Técnica Europeia, ETAG²⁴ ou com base em Procedimentos Comuns de Apreciação, (sem Guias) CUAP²⁵, elaborados pela EOTA. A ETAG a considerar seria a ETAG 003 designada por “INTERNAL PARTITIONS KITS FOR USE AS NON-LOADBEARING WALLS”.

Na Figura 3.7 ilustram-se os 6 passos principais para a marcação CE de um produto.

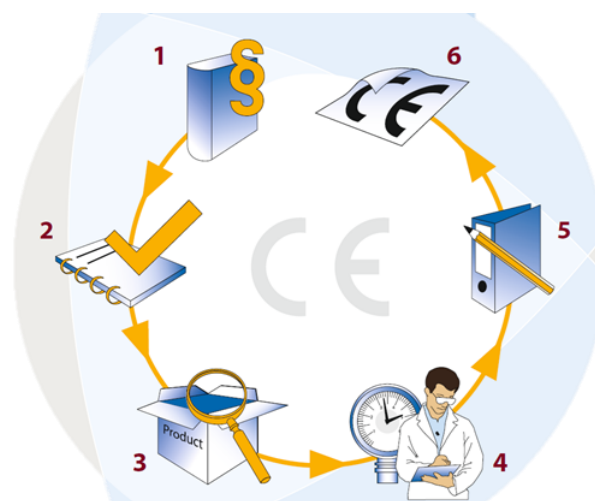


Figura 3.7 – Passos da marcação CE para um produto.
(adaptado de http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/downloads/ce_brochure_pt.pdf)

Passo 1 – Identificar a(s) directivas (s) e as normas hamonizadas aplicáveis ao produto;

Passo 2 – Verificar os requisitos específicos do produto;

Passo 3 – Determinar se existe necessidade de proceder a uma avaliação de desempenho independente por um Organismo Notificado (ON);

Passo 4 – Teste do produto e verificação do respectivo desempenho;

Passo 5 – Elaboração e disponibilização da documentação técnica obrigatória;

Passo 6 – Aposição da marcação CE no produto e declaração CE de desempenho.

²³ EOTA – European Organisation of Technical Approvals.

²⁴ ETAG – Guidelines for European Technical Approvals.

²⁵ CUAP – Common Understanding of Assessment Procedure.

4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O “protótipo” entendido como “módulo de compressão axial” consiste numa estrutura metálica amovível que é extensível verticalmente e que contempla vários sistemas que permitem a sua mobilidade, elevação e estabilidade. Corresponde à primeira materialização de uma tecnologia panteada da qual o autor da presente dissertação é co-inventor.

Através da utilização de diversos *softwares* como o Autodesk 3ds Max Design e o 3D Cad Design SolidWorks foi possível a modelação de pormenores construtivos associados às componentes que integram o módulo, como ilustra a Figura 4.1, e ainda fazer a previsão do tipo de materiais, equipamentos e mão-de-obra necessários à sua concretização.

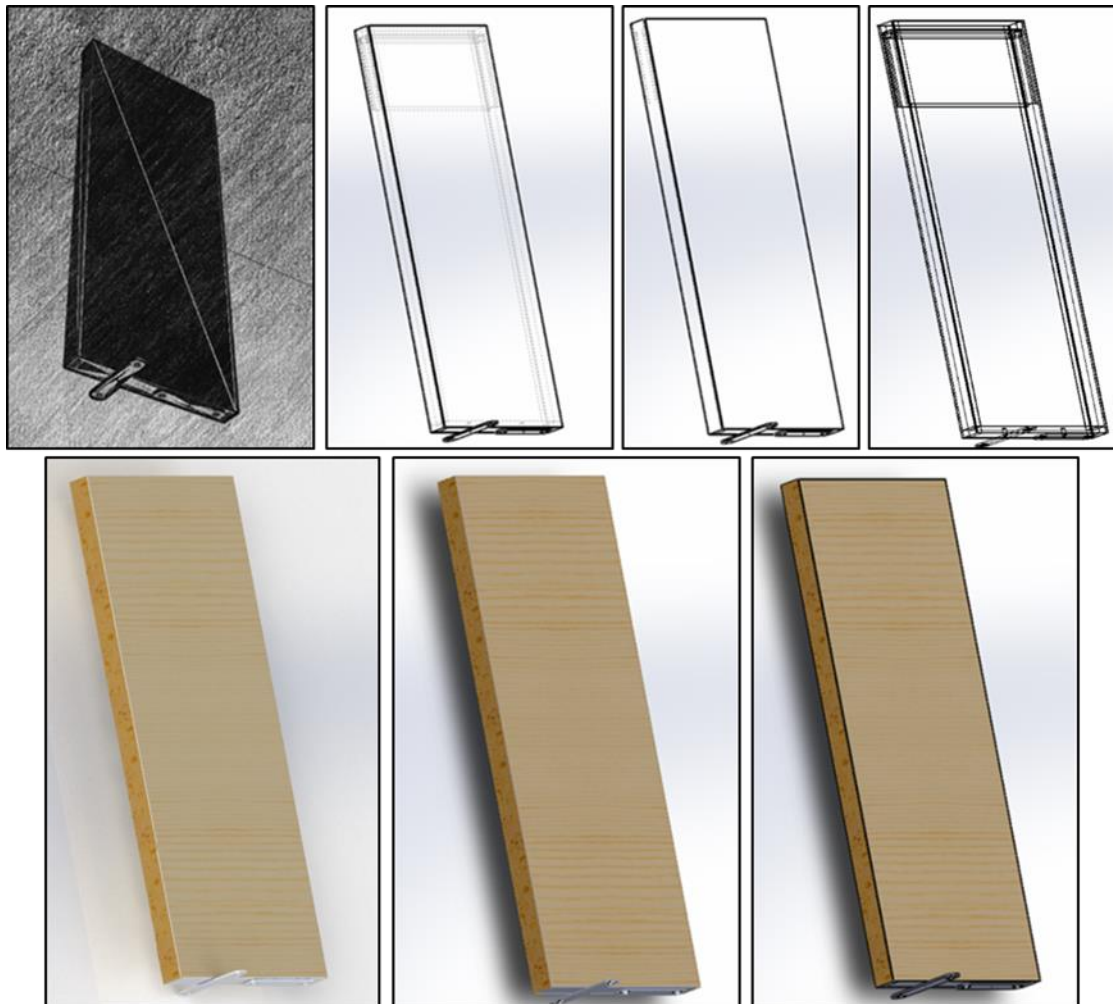


Figura 4.1 – Modelo tridimensional do protótipo.

Como pode ser observado na Figura 4.2, um conjunto de módulos idênticos acoplados entre si podem ser empregues na divisão de um espaço residencial ou empresarial.



Figura 4.2 – Aplicação conceptual do sistema.

Este sistema, flexível, procura rentabilizar qualquer área, dando a cada utilizador a possibilidade de a configurar em função das suas necessidades. Devido ao dinamismo dos dias de hoje, os espaços referidos deverão ser adaptáveis ao dia-a-dia das pessoas, alterando-se sempre que necessário. Esta possibilidade é contrária ao que tem acontecido nas edificações, em que geralmente se utilizam elementos estáticos na compartimentação. É na tentativa de alteração deste paradigma que surge este conceito modelar.

No sentido de facilitar a interpretação semântica, sempre que neste texto são referidas as palavras “protótipo”, “provete”, “módulo”, “sistema”, “plataforma”, “divisória”, “elemento”, “conjunto”, as mesmas remetem sempre à estrutura aligeirada ensaiada como ilustra a Figura 4.3, na qual se pode observar a sua versatilidade.



Figura 4.3 – Módulo posicionado no laboratório de acústica do LNEC.

No processo de concepção deste protótipo procurou-se utilizar o menor número de elementos possível, equacionando-se simultaneamente parâmetros como o custo, o peso e as dimensões. O processo criativo implica, muitas vezes, o teste de componentes de forma iterativa. Só assim se consegue um verdadeiro ajuste, entre o projecto e a realidade, pelo menos num círculo não-industrial.

Por questões de facilidade de referência, sempre que forem empregues as palavras “revestimento” ou “material de preenchimento” associados ao módulo, referem-se aos produtos comercializados e descritos posteriormente no ponto 3.1.3, utilizados no revestimento das faces e no preenchimento da estrutura do respetivo módulo.

A Figura 4.4 e a Figura 4.5 permitem identificar inequivocamente as faces da estrutura e a posição ocupada pelas placas de revestimento, pelo material de preenchimento e pela estrutura metálica.

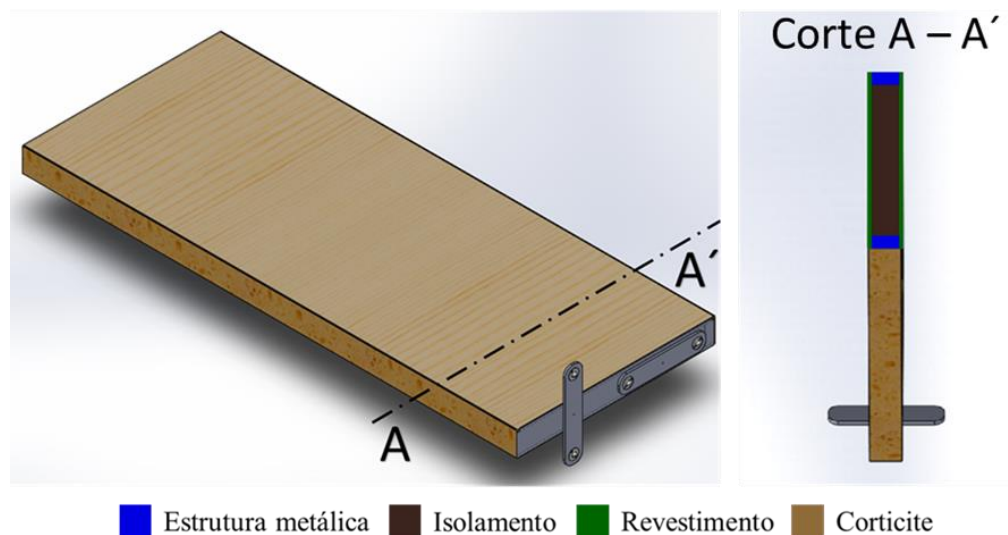


Figura 4.4 – Módulo em corte e constituição interior. (O corte A – A’ foi realizado aproximadamente a 30 [cm] da base.)

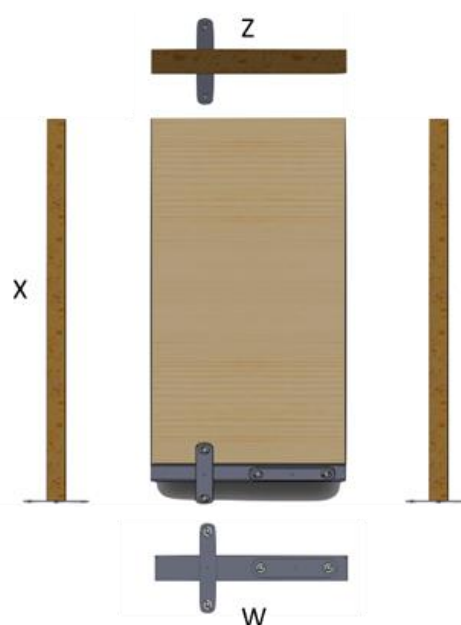


Figura 4.5 – Módulo planificado com identificação das suas faces.

4.1.1. Caracterização Dimensional

O protótipo ensaiado tem altura de 2000 mm, largura de 810 mm e espessura de 100 mm. A sua capacidade expansível permite alcançar qualquer altura desejada entre 2000 mm a 2340 mm. A Figura 4.6 apresenta as dimensões aproximadas do módulo quando posicionado em pressão no compartimento de apoio às câmaras reverberantes do LNEC.



Figura 4.6 – Dimensões do módulo quando aplicado no laboratório de acústica do LNEC [em cm].

4.1.2. Estrutura Metálica

Os materiais que compõem a estrutura metálica do módulo são o aço DC01 - *Deep-drawing Steel* que consiste num aço enformado a frio com embutição normal, de acordo com a norma EN 10130 (CEN, 2006) e o aço S 275 JR +AR *Carbon Steel* que tem na sua constituição Carbono e Manganês conforme a norma NP EN 10025-2 (IPQ, 2007). Estes aços são bastante trabalháveis uma vez que soldam facilmente pelos processos convencionais e garantem boas características de deformação e ductilidade. É na tentativa de evitar fenómenos de encurvadura, torção e fluência que se utilizaram materiais metálicos de grande resistência no esqueleto estrutural, devidamente contraventados.

Apesar de ser considerado, enquanto conjunto, um sistema de pré-fabricação leve, uma vez que apresenta um peso inferior a 50 kg/m^2 (Carvalho, 1988), este peso diminuirá para cerca de um terço com a mudança para uma estrutura metálica em alumínio extrudido, de massa volúmica aproximada de 2697 kg/m^3 quando comparado com os aços DC01 e S 275 JR +AR com massas volúmicas que variam entre 7700 a 8000 kg/m^3 . Esta diferença é muito significativa pois condicionará a mobilidade do sistema pelo número de rolamentos integrados no módulo, já que haverá um esforço constante em evitar fenómenos de punçoamento, efeito que poderia ser muito nefasto para os pavimentos das edificações.

Houve também necessidade de solicitar perfis à medida, nomeadamente aqueles que sustêm os painéis de revestimento, os quais foram projetados previamente nos *softwares* referidos e moldados com a maquinaria da Figura 4.7.



Figura 4.7 – Maquinaria utilizada no fabrico de perfis à medida: Quinadeira (à esquerda e no centro) e Guilhotina (à direita).

4.1.3. Corte de revestimentos e propriedades dos produtos integrados

Neste ponto descrevem-se os constituintes escolhidos para integrar o módulo.

No que diz respeito ao revestimento, foram utilizadas duas placas de contraplacado de choupo, da classe de aspecto B/BB, com dimensões de $8 \times 2500 \times 1220 \text{ mm}$ e posteriormente cortadas por uma esquadrejadora em quatro placas como mostra a Figura 4.8:

- Placa Pequena 1 – “PP1”;

- Placa Pequena 2 – “PP2”;
- Placa Grande 1 – “PG1”;
- Placa Grande 2 – “PG2”.

As propriedades das placas são apresentadas no Quadro 4.1. Este revestimento tem uma massa volúmica que varia entre 415 a 445 kg/m³, segundo o fabricante INVERNIZZI-SPA (<http://www.invernizzi-spa.com/>).

Quadro 4.1 – Massas, Dimensões e Áreas para as placas de contraplacado utilizadas.

Placas de contraplacado de choupo			
Referências	Massas ⁽¹⁾ (kg)	Dimensões ⁽²⁾ (cm)	Áreas (m ²)
PP1	1,1	79,0 x 39,5	0,31
PP2	1,1	79,0 x 39,5	0,31
Total PP	2,2	–	0,62
PG 1	5,7	80,0 x 199,5	1,60
PG 2	5,7	80,0 x 199,5	1,60
Total PG	11,4	–	3,19
Total	13,6	–	3,82

(1) O peso foi aferido utilizando uma balança digital.

(2) As dimensões foram obtidas por régua graduada.



Figura 4.8 – Corte de placas com medidas pré-definidas.

A Figura 4.9 ilustra a integração das quatro placas de contraplacado de choupo no sistema.



Figura 4.9 – Identificação das placas de contraplacado de choupo no sistema.

Foram igualmente cortadas duas placas de OSB3 AGEPAN de dimensões 8x2500x1250 mm e uma placa de MDF ST de dimensões 8x2750x1830 mm. Estes revestimentos têm uma massa volúmica que varia entre 580 a 660 kg/m³ e 750 a 810 kg/m³ respectivamente, segundo o fabricante SONAEINDUSTRIA (<http://www.sonaeindustria.com>). Na Figura 4.10 apresentam-se as seis placas pequenas utilizadas nos ensaios e nos Quadros 3.2 e 3.3 as propriedades das restantes placas mencionadas.



Figura 4.10 – Placas pequenas utilizadas nos ensaios.

Quadro 4.2 – Massas, Dimensões e Áreas estimadas para as placas de OSB utilizadas.

Placas de OSB			
Referências	Massas ⁽¹⁾ (kg)	Dimensões ⁽²⁾ (cm)	Áreas (m ²)
PP3	1,7	79,0 x 39,5	0,31
PP4	1,7	79,0 x 39,5	0,31
Total PP	3,4	–	0,62
PG 3	8,8	80,0 x 199,5	1,60
PG 4	8,8	80,0 x 199,5	1,60
Total PG	17,6	–	3,19
Total	21,0	–	3,82

(1) O peso foi aferido utilizando uma balança digital.

(2) As dimensões foram obtidas por régua graduada.

Quadro 4.3 – Massas, Dimensões e Áreas estimadas para as placas de MDF utilizadas.

Placas de MDF			
Referências	Massas ⁽¹⁾ (kg)	Dimensões ⁽²⁾ (cm)	Áreas (m ²)
PP5	2,2	79,0 x 39,5	0,31
PP6	2,2	79,0 x 39,5	0,31
Total PP	4,4	–	0,62
PG 5	10,8	80,0 x 199,5	1,60
PG 6	10,8	80,0 x 199,5	1,60
Total PG	21,6	–	3,19
Total	26,0	–	3,82

(1) O peso foi aferido utilizando uma balança digital.

(2) As dimensões foram obtidas por régua graduada.

Todo o espaço²⁶, no interior do módulo, que não se encontra ocupado pelos componentes mecânicos foi preenchido com placas de cortiça com uma espessura média de 6 cm. De acordo com o fabricante ISOCOR - Aglomerados de Cortiça ACE, este produto tem uma massa volúmica que varia entre 105 a 125 kg/m³.

Outro produto escolhido para o preenchimento da caixa-de-ar foi a lã de vidro – Painei Kraft TP 216 – Painei com barreira de vapor Kraft como mostra a Figura 4.11. Segundo a Knauf Insulation as placas têm uma massa volúmica aproximada de 30 kg/m³.

Ambos os produtos mencionados são materiais porosos, pelo que contribuem para o isolamento acústico do sistema, têm um custo unitário baixo e são facilmente trabalháveis.



Figura 4.11 – Placas KNAUF INSULATION com uma espessura de 50 [mm] cada.

Os “provetes” ou “tipologias” ensaiadas resultam da combinação dos produtos descritos neste ponto e são apresentados na próxima secção.

No Quadro 3.4 apresentam-se as massas das componentes que constituem o módulo.

Quadro 4.4 – Massas estimadas das diversas componentes que compõem o módulo.

Elementos	Massas ⁽¹⁾ (kg)
Estrutura em aço	48,5
Placas de contraplacado de choupo	13,6
Placas de OSB	21,0
Placas de MDF	26,0
Lã de vidro	1,5
Cortiça	8,6

(1) O peso foi aferido utilizando uma balança digital.

²⁶ Entende-se por volume de espaço vazio conchado pelas placas de revestimento.

4.2. ENSAIOS REALIZADOS E TIPOLOGIAS DO PROTÓTIPO

No Quadro 4.5 e no Quadro 4.6 apresentam-se a totalidade dos ensaios realizados no LNEC.

As massas dos provetes de ensaio são apresentados no Quadro 4.7.

Quadro 4.5 – Ensaios realizados no LNEC.

Ensaios e variantes do protótipo ensaiadas			
Tipo de ensaio	N.º de ensaio	Proвете	Constituintes
Absorção Sonora	1	AS1	Contraplacado de Choupo; Cortiça
Isolamento sonoro a sons aéreos	2	IS1	Contraplacado de Choupo; Cortiça
	3	IS2	OSB; Cortiça
	4	IS3	MDF; Cortiça
	5	IS4	Contraplacado de Choupo; Lã de vidro
	6	IS5	OSB; Lã de vidro
Medição do Nível sonoro	7	NS5	OSB; Lã de vidro
Isolamento sonoro a sons aéreos	8	IS6	MDF; Lã de vidro

Quadro 4.6 – Ensaios suplementares realizados.

Ensaios complementares			
Tipo de ensaio	N.º de ensaio	Proвете	Constituintes
Isolamento sonoro a sons aéreos – Influência do Tempo de Secagem	9	IS7	MDF; Lã de vidro
Isolamento sonoro a sons aéreos – Simulação de Pavimento Irregular	10	IS8	MDF; Lã de vidro
Isolamento sonoro a sons aéreos – Optimização	11	IS9	MDF; Lã de vidro

Quadro 4.7 – Massas estimadas dos provetes utilizados nos ensaios.

Referências	Massas ⁽¹⁾ (kg)
Proвете AS1 e IS1	70,7
Proвете IS2	78,1
Proвете IS3	83,1
Proвете IS4	64,1
Proвете IS5 e NS5	71,5
Proвете IS6	76,5
Proвете IS7	76,5
Proвете IS8	76,5
Proвете IS9	76,5
Proвете IS10	76,5

(1) O peso foi aferido utilizando uma balança digital.

4.3. ADAPTAÇÕES PRÉVIAS AO ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA NO MÓDULO

Nesta secção descrevem-se as adaptações feitas no módulo antes do ensaio n.º 1.

Após o transporte do módulo para o interior do laboratório, (vd. Figura 4.12), procederam-se a três melhoramentos.



Figura 4.12 – Transporte dos materiais e equipamentos necessários para o laboratório de acústica por intermédio de elevador mecânico.

I. Uma camada de corticite CPU+ da Corticeira Amorim com uma espessura de 2 mm foi colada, com cola de contacto, à face exterior dos perfis X,Y e Z como mostra a Figura 4.13 (a) com os perfis X e Z (já que a parte exterior do perfil Y se encontra virada para baixo, nessa mesma figura). A presença deste material resiliente no topo do módulo favorece não só o acoplamento à laje de tecto mas também evita que o elemento deixe marcas no revestimento do tecto resultantes das forças de compressão exercidas pelo sistema mecânico.

II. Colou-se com a Fita Faixa da ISOLMANT (polietileno reticulado) o interior dos perfis laterais X,Y a fim de evitar o contacto directo metal-metal numa tentativa de restringir e amortecer a propagação vibracional. Esta fita adesiva, Figura 4.13 (c), tem uma massa volúmica aproximada de 30 kg/m^3 , uma espessura de 3 mm e uma largura de 7,5 cm.

III. Por último, colaram-se duas camadas de corticite com uma largura de 2 cm cada e espessura de 4 mm nas extremidades do perfil Z como se ilustra a Figura 4.13 (b). Este reforço resulta numa maior flexibilidade de encosto no topo do módulo.

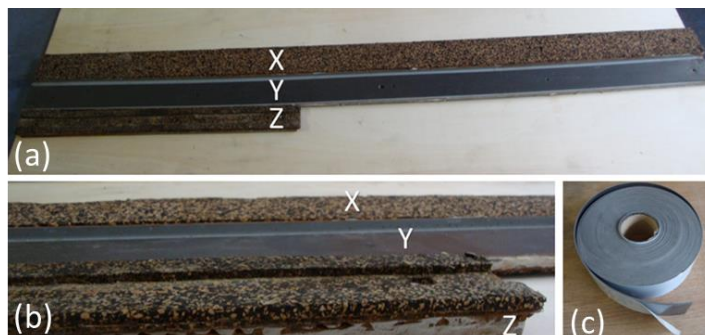


Figura 4.13 – Perfis dispostos paralelamente (a) e (b) e Fita Faixa ISOLMANT (c).

4.4. ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA

O ensaio de absorção sonora foi realizado segundo as normas em vigor. O coeficiente de absorção sonora, α , foi obtido tendo em conta a norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007). O cálculo do coeficiente de absorção sonora ponderado, α_w , e a classe de absorção sonora que deriva do cálculo anterior foram determinados de acordo com a norma conforme EN ISO 11654 (CEN,1997).

4.4.1. Condições de ensaio e equipamento utilizado

- Referência do ensaio: AS1
- Área, S , do elemento de teste: $2,578 \text{ m}^2$
- Massa por unidade de área: $37,3 \text{ kg/m}^2$
- Temperatura do ar nas câmaras: $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- Humidade relativa nas câmaras de ensaio: $79 \pm 2\%$

Os equipamentos utilizados no ensaio de absorção sonora foram o sonómetro Bruel & Kjaer tipo 2260 com controlo metrológico efectuado pelo ISQ e a fonte sonora da Bruel & Kjaer tipo 4224. A câmara emissora reverberante onde foi introduzido o protótipo tem dimensões de $4,5 \times 4,9 \times 5,5 \text{ m}$, volume de $120,0 \text{ m}^3$ e área total da envolvente exposta de $147,5 \text{ m}^2$. A difusão é assegurada pela existência de 16 difusores de $1,9 \text{ m}^2$, em forma de calote cilíndrica, suspensos aleatoriamente do tecto e da parede.

4.4.2. Procedimento de ensaio

Após os ajustes prévios induzidos no provete, como explicita a secção 4.3, procedeu-se à preparação da variante “AS1”. Para tal, foram colocados os painéis “PP1”, “PP2” e “PG1” no módulo, uma vez que as placas de cortiça já se encontravam devidamente incorporadas. Posteriormente transportou-se o protótipo para o interior da sala, onde foi posicionado de forma a estar totalmente assente no pavimento, cobrindo uma área de $2340 \times 810 \text{ mm}$ como indica o anexo 1. O painel “PG1” ficou virado para cima.

Uma fonte sonora, com um espectro contínuo nas bandas de frequências de interesse foi utilizada para accionar um altifalante direccionado, que estava localizado dentro da câmara. Seguidamente, os tempos de reverberação da câmara foram determinados usando o método do ruído interrompido com três medições de decaimento feitas em cada uma das quatro posições de microfone para cada uma das duas posições de altifalantes para obter uma média representativa em

cada uma das bandas de um terço de oitava de 100 Hz a 5000 Hz como prescrito na norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007).

É de referir que este ensaio foi realizado com a única porta de acesso ao exterior convenientemente fechada e com a abertura de ensaio totalmente preenchida pela solução construtiva presente no anexo 2 a separar a câmara emissora da câmara receptora como ilustra a Figura 4.14.



Figura 4.14 – Abertura totalmente preenchida aquando a realização do ensaio de absorção na câmara emissora.

4.5. TRABALHOS PRÉVIOS AOS ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO

Nesta secção relatam-se os trabalhos realizados na parede que separa as câmaras reverberantes e que antecederam o ensaio n.º 2.

I. Montou-se o andaime de forma a facilitar a trabalhabilidade, Figura 4.15 (a);

II. Marcou-se a área de abertura a demolir, 2350x820 mm alinhada pelo lado direito da parede de alvenaria pré-existente com dimensões 1200x600 mm, Figura 4.15 (b). A parede de alvenaria encontrava-se a uma profundidade de 40 mm da parede principal;

III. Utilizou-se uma rebarbadora para cortar os limites máximos da mesma área e posteriormente arrancou-se a cortiça existente, Figura 4.15 (c) e Figura 4.16 (a);

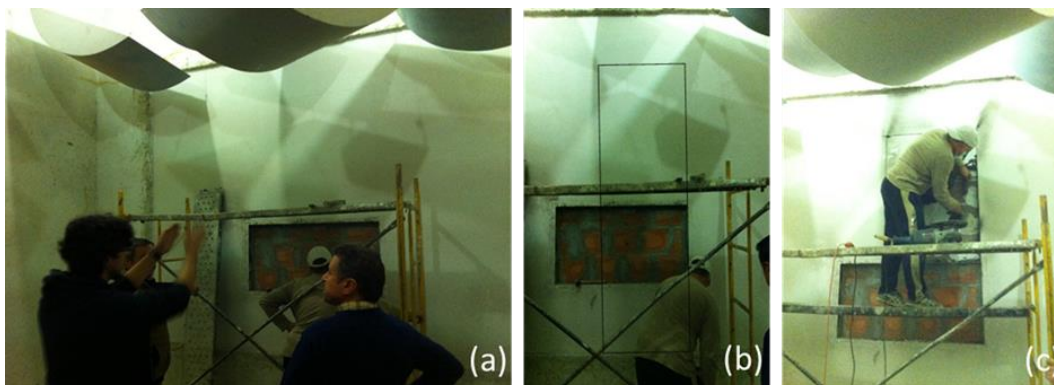


Figura 4.15 – Montagem de andaime (a), marcação da área a demolir (b) e corte pelo limite máximo (c).

IV. Preparou-se uma argamassa de cimento para regularização dos paramentos laterais. Adicionou-se gesso à argamassa para uma mais rápida e melhor adesão ao suporte no paramento do topo, Figura 4.16 (b).

V. Procedeu-se à demolição da área referida e transporte do entulho a vazadouro, Figura 4.16 (c);



Figura 4.16 – Arrancamento de placas de cortiça (a), preparação de argamassa (b) e demolição da área 2350 x 820 [mm] (c).

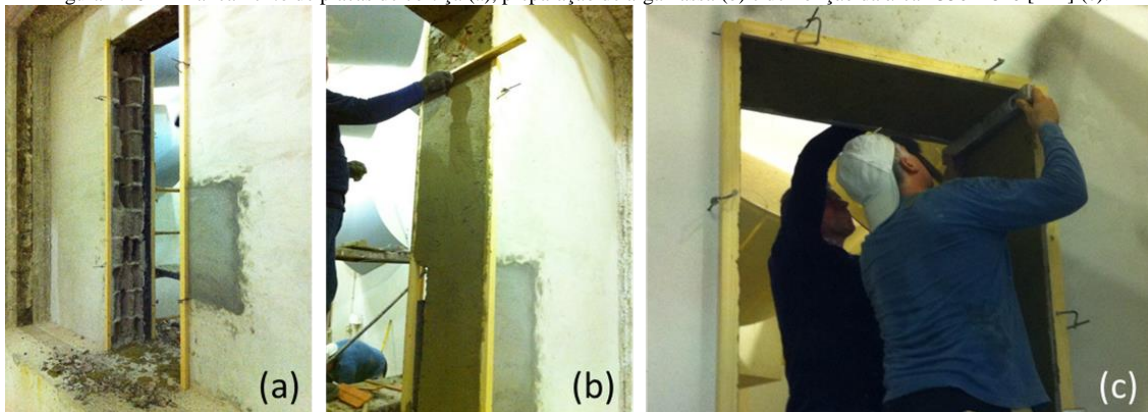


Figura 4.17 – Regularização dos paramentos.

VI. Utilizaram-se guias de madeira e grampos de forma a garantir a verticalidade da envolvente, Figura 4.17 (a);

VII. Regularizaram-se os paramentos com argamassa de forma a garantir planeza com a utilização do nível, Figura 4.17 (b), Figura 4.17 (c), Figura 4.18 (a);

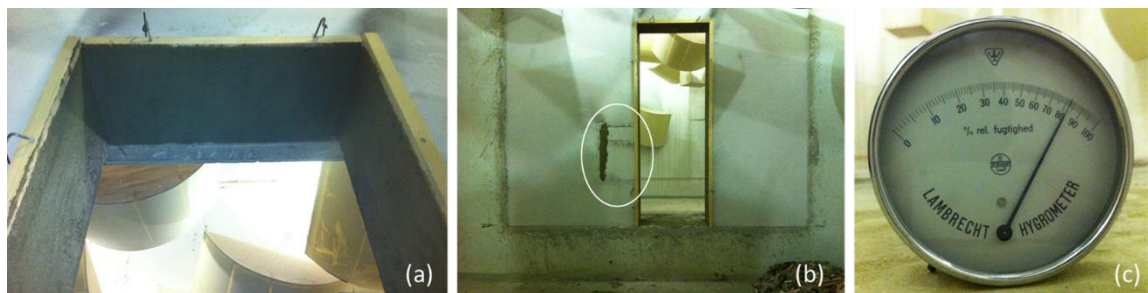


Figura 4.18 – Aspecto final da abertura e medição da humidade relativa.

VIII. Preencheu-se com recurso a cortiça e argamassa o espaço remanescente da abertura inicial situada à esquerda da área demolida, até à face da parede, Figura 4.18 (b);

IX. Fizeram-se medições de temperatura e humidade relativa, Figura 4.18 (c);



Figura 4.19 – Aspecto final visto de ambos os lados da parede.

X. Ligou-se o desumificador para acelerar o processo de cura, Figura 4.19 (a);

XI. O aspecto final da abertura realizada pode ser visualizado na Figura 4.19 (b) e na Figura 4.19 (c).

4.6. ADAPTAÇÕES PRÉVIAS AOS ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO NO MÓDULO

Nesta secção relatam-se as adaptações feitas no módulo antes do ensaio n.º 2.

I. Desactivação dos sistemas mecânicos do divisor, particularmente aquele que auferia extensibilidade ao módulo, fazendo-o variar de uma altura de 2 até 2,34 m. Para tal, considerando o princípio de que todos os ensaios deveriam ser realizados com a estrutura “paralisada” a uma altura extrema de 2340 mm, é evidente que o elemento ao ser colocado na abertura demolida, apenas assente através do seu peso próprio, carecerá das forças de compressão com a envolvente. Esta situação é tendencialmente desfavorável para o desempenho acústico do mesmo, não correspondendo à situação real onde este é aplicado com o sistema mecânico operacional; por consequência, sem folga e em pressão, como na Figura 4.3. Conjectura-se por esta razão que os resultados de isolamento sonoro obtidos a nível experimental são conservativos.

II. Colagem de duas tábuas de madeira ao sistema, com cola de contacto, a fim de aumentar a área de contacto lateral entre o provete-abertura, e evitar que o silicone penetrasse nas zonas ocultas do perfil, como ilustra a Figura 4.20.



Figura 4.20 – Colagem de tábuas de madeira ao provete.

III. Preparação dos suportes onde o provete assenta. Recortaram-se duas camadas com dimensões 820x270 mm aproximadamente dos seguintes produtos:

Isolmant Underslim com 5 mm de espessura, Figura 4.21 (a) – Utilizado nos ensaios n.º 2, n.º 3, n.º 4, n.º 5, n.º 6, n.º 7, n.º 8 e n.º 9;

Isolmant Polimuro com 12 mm de espessura, Figura 4.21 (b) – Utilizado apenas no ensaio n.º 11.

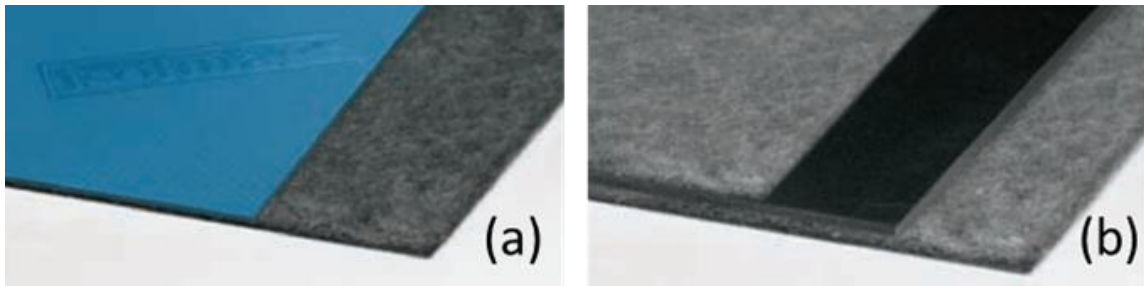


Figura 4.21 – Suportes: ISOLMANT UNDERSLIM (a) e ISOLMANT POLIMURO (b).

Existiu a preocupação de colocar o conjunto “Módulo+Suporte” a uma distância de 12 cm de profundidade face ao paramento principal da câmara emissora, Figura 4.22 (a), em todos os ensaios de isolamento sonoro, pois nessa zona específica a superfície de apoio (laje em betão) era menos irregular.

Após o ensaio n.º 2:

IV. Reforço de pontos frágeis, especialmente nas uniões entre perfis com recurso a soldagem convencional, Figura 4.22 (b).

Após o ensaio n.º 4:

V. Na preparação do ensaio n.º 5 – Provede IS4, houve a necessidade de remover todo o material de preenchimento existente no interior do módulo, nomeadamente as placas de cortiça e proceder à sua substituição por painéis Kraft TP 216 da Knauf Insulation completando totalmente a caixa-de-ar.

Após o ensaio n.º 10:

VI. Duplicação da camada de corticite com 2 mm de espessura utilizando cola de contacto pelo exterior dos perfis laterais X e Y, como ilustrado na Figura 4.22 (c), à semelhança do que se fez na alínea I da secção 4.3. Esta alteração resulta do desgaste induzido pelos ensaios e contribuiu para diminuir a folga existente entre a abertura-provete e desse modo limitar o gasto de silicone.



Figura 4.22 – Medições de posicionamento, reforço em zonas frágeis e duplicação da corticite.

4.7. ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS

Os ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos foram realizados segundo as normas em vigor. Os tempos de reverberação foram medidos em câmara receptora, com o provete introduzido na abertura, de acordo com a norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007).

Para a medição da pressão sonora, nas câmaras emissora e receptora, foram tidos em conta os procedimentos de ensaio de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010).

Após o tratamento de dados, provenientes dos cálculos realizados de acordo com as normas referidas, procedeu-se à determinação da curva característica de isolamento sonoro do elemento construtivo ensaiado, assim como o cálculo do correspondente índice de redução sonora, R_w , seguindo a metodologia enunciada na norma NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013).

4.7.1. Condições de ensaio e equipamento utilizado

- Referência do ensaio: IS1
- Área, S , do elemento de teste: $1,895 \text{ m}^2$
- Temperatura do ar nas câmaras de teste: $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- Humidade relativa nas câmaras de ensaio: $79 \pm 2\%$

O Quadro 4.8 apresenta as massas superficiais dos provetes.

Referência	Massa Superficial (kg/m ²)
<i>Proвете AS1 e IS1</i>	37,3
<i>Proвете IS2</i>	41,2
<i>Proвете IS3</i>	43,9
<i>Proвете IS4</i>	33,8
<i>Proвете IS5 e NS5</i>	37,7
<i>Proвете IS6</i>	40,4
<i>Proвете IS7</i>	40,4
<i>Proвете IS8</i>	40,4
<i>Proвете IS9</i>	40,4
<i>Proвете IS10</i>	40,4

Quadro 4.8 – Massa superficial dos provetes ensaiados.

Os equipamentos utilizados nos ensaios de isolamento sonoro foram o sistema de aquisição multi-analisador Pulse da Bruel & Kjaer e a fonte sonora da Bruel & Kjaer tipo 4224.

4.7.2. Procedimento de ensaio

Depois da introdução do provete IS1 na abertura, vd.Figura 4.23, com a base Isolmant Underslim posicionada, aplicou-se silicone na folga existente, aproximadamente 4 mm em cada face e deixou-se secar aproximadamente 20 horas, vd.Figura 4.24. A utilização do silicone deve-se não só à necessidade de colmatar o espaço existente entre a abertura e o protótipo, para que este fique fixo, como também evitar a perda de isolamento sonoro pela envolvente.

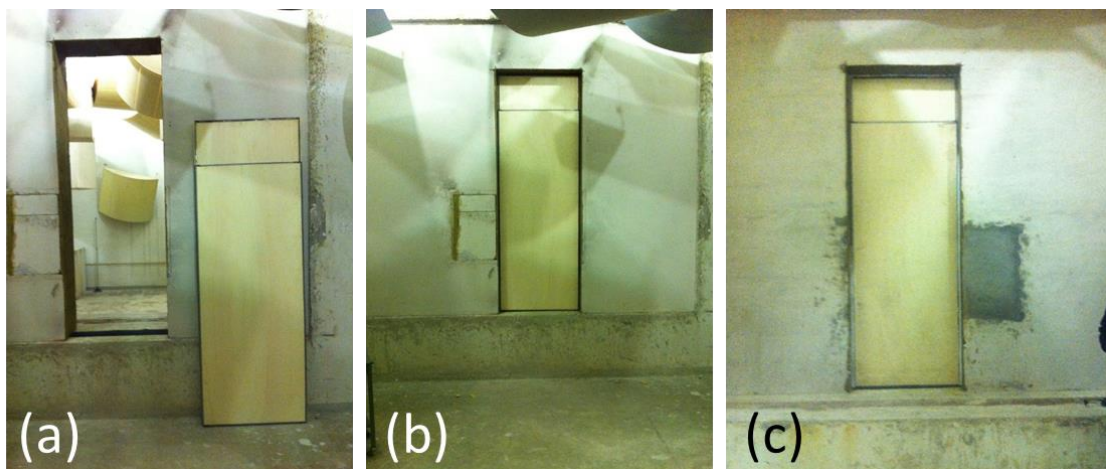


Figura 4.23 – À esquerda e centro: Visto do lado da câmara emissora; À direita: Visto do lado da câmara receptora.



Figura 4.24 – Aplicação de silicone na folga entre o provete e a abertura.

Os tempos de reverberação na câmara receptora foram determinados usando o método do ruído interrompido com três medições de decaimento feitas em cada uma das quatro posições de microfone, para cada uma das duas posições de altifalantes, de forma a obter uma média representativa em cada um dos intervalos de um terço de oitava de 100 a 5000 Hz, como prescrito na norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007).

Posteriormente procedeu-se ao registo dos níveis sonoros nas câmaras emissora e receptora utilizando 5 microfones para 2 posições da fonte sonora de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010). Através do ajustamento da curva de referência, “*por patamares de 1dB (0,1 dB se a incerteza for indicada), relativamente à curva dos valores medidos, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível mas não superior a 32 dB (para medições em 16 bandas de terços de oitava)*” (NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013)), calculou-se o índice de isolamento sonoro, R_w , que corresponde ao valor da ordenada da curva de referência na banda de frequências de 500 Hz. A curva característica normalizada foi desta forma traçada e os coeficientes de adaptação do Espectro (C ; C_{tr}) calculados, pelo modelo de cálculo apresentado no capítulo seguinte.

A metodologia referida foi rigorosamente aplicada aos restantes ensaios. Sempre que houve necessidade de remover o provete, cortou-se o silicone nas 3 faces, (vd. Figura 4.25), trocou-se o revestimento e/ou o material de preenchimento do módulo, Figura 4.26 (a), voltando-se a posicionar o divisor na abertura, reaplicando o silicone dos dois lados do elemento (do lado da câmara emissora e do lado da câmara receptora) e assim sucessivamente, Figura 4.26 (b) e Figura 4.26 (c).



Figura 4.25 – Corte do silicone para remoção do provete da abertura.

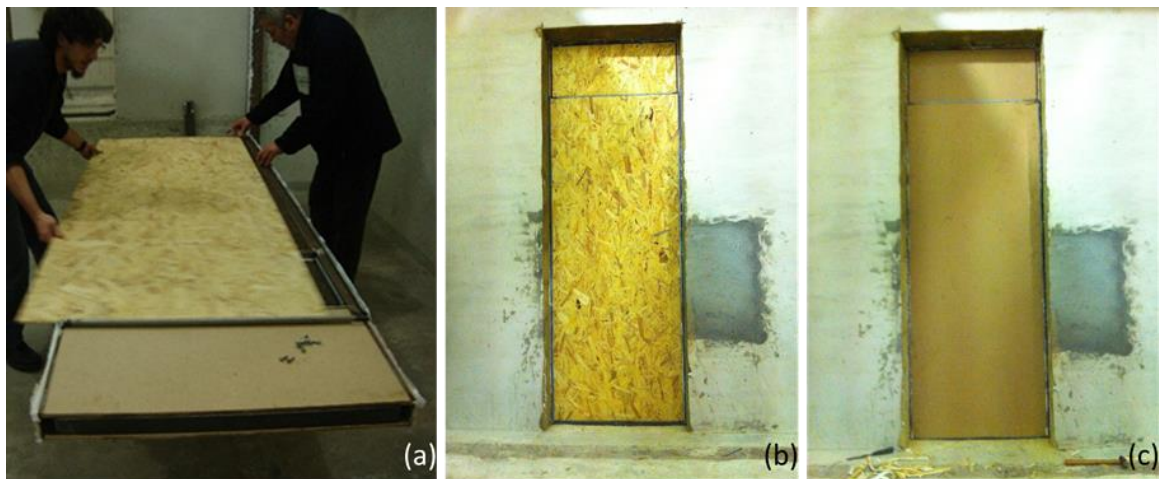


Figura 4.26 – Troca de painéis (a) e aspecto do provete IS5 (b), e do provete IS6 (c).

Considerações finais relativamente aos ensaios:

I. Todos os painéis de revestimento foram marcados de forma a que tivessem sempre a mesma orientação em relação às câmaras reverberantes, ao longo das substituições, com o objectivo de minimizar o erro devido a imperfeições dimensionais;

II. Em cada ensaio foi apenas utilizado um tipo de revestimento;

III. A inexistência de ventilação integrada no laboratório e as condições termo-higrómicas dificultaram os tempos de secagem da argamassa e do silicone, motivo pelo qual esteve sempre em funcionamento uma ventoinha;

IV. A troca de constituintes (apresentados no ponto 4.1.3) foi feita de forma manual desapertando os parafusos existentes nos lados exteriores dos perfis de fecho X, Y e Z;

V. No ensaio n.º 9, que teve como intenção apurar a influência do tempo de secagem, limitou-se a repetir o ensaio n.º 8, utilizando-se para tal o mesmo conjunto de materiais, todavia aumentando o tempo de secagem;

VI. Para o ensaio n.º 10, cujo intento foi determinar o efeito da irregularidade do pavimento onde assenta o módulo, não foi utilizada qualquer base colocando-se unicamente silicone do lado da câmara emissora;

VII. No ensaio de tentativa de optimização, n.º 11, preconizou-se um reforço da lâ de vidro e um melhoramento exposto na alínea VI do capítulo 4.6.

4.8. ENSAIO DE MEDIÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Realizou-se apenas um ensaio de medição do nível de pressão sonora, L_p , com o provete NS5, devido à imprecisão associada, uma vez que este é executado com recurso à leitura directa no Sonómetro BRUEL & KJAER tipo 2260.

Este ensaio permite determinar o nível de pressão sonora para um dado intervalo de tempo, T , nunca inferior a 15s, apresentando um *output* em [dB] e [dB(A)]. O descritor apresenta-se na equação 3.1.

$$L_p = 10 \text{ LOG } \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \quad (3.1)$$

Nesta equação:

L_p – Nível de pressão sonora;

T – Intervalo de tempo com início em t_1 e fim em t_2 (s);

p_0 – Pressão sonora de referência = 20 (μPa);

$p(t)$ – Pressão sonora instantânea do sinal sonoro.

Para a aquisição dos valores foi escolhido previamente, no menu do sonómetro, o tempo de resposta *fast*, que corresponde a uma ponderação temporal rápida.

Os resultados obtidos encontram-se na secção 5.4 e permitiram concluir, aproximadamente, quais as zonas do protótipo que têm maior perda sonora.

4.9. TRABALHOS POSTERIORES AOS ENSAIOS

Após o término dos ensaios, procedeu-se ao fecho da abertura, onde se colocou o provete de dimensões 2350x820 mm, com a construção de 2 panos de parede de alvenaria (Tijolo de 11 cm) levantados primeiramente do lado da câmara receptora e posteriormente a partir da câmara emissora. A evolução do processo encontra-se documentado na Figura 4.27.

Esta necessidade foi uma exigência inicial do espaço cedido e requisito para a realização de ensaios de absorção sonora a produtos comercializados, agendados posteriormente, por empresas que ocuparam o laboratório.



Figura 4.27 – Aspecto da parede que separa as câmaras reverberantes após o fecho da abertura onde foi ensaiado o provete.

5. ANÁLISE E TRATAMENTO DE RESULTADOS

5.1. ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA AS1

De acordo com o explicitado no ponto 4.4.2, os resultados provenientes das medições efectuadas relativamente aos tempos de reverberação em câmara reverberante, de acordo com a norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007), encontram-se no gráfico da Figura 5.1. Para gerar o campo sonoro foi utilizada uma fonte sonora que emitiu um ruído rosa.

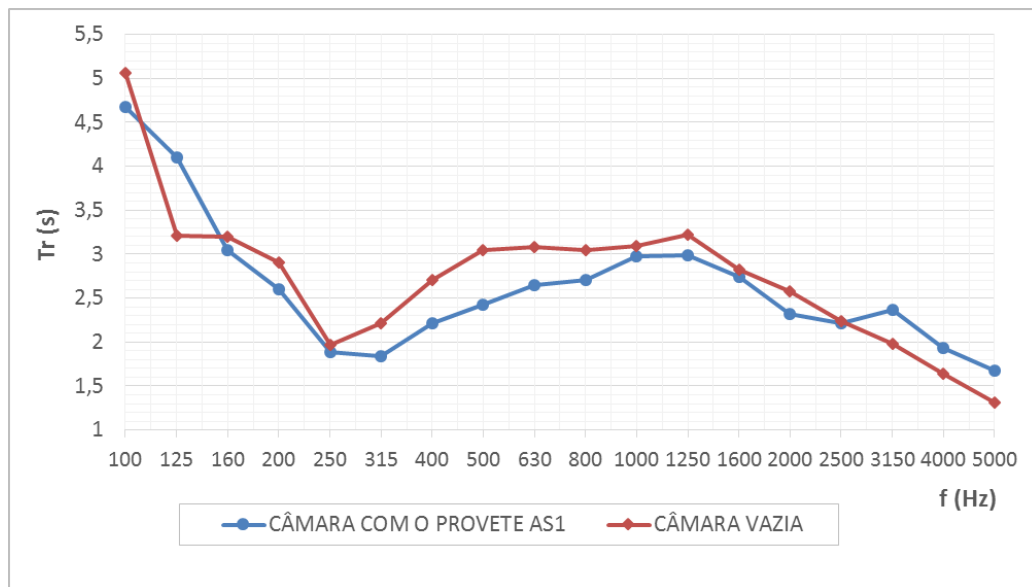


Figura 5.1 – Tempos de reverberação médios.

Os tempos de reverberação foram maioritariamente superiores para a situação da sala vazia. Os valores para o qual este facto não se verifica, são considerados desprezáveis, pois refletem a acção de factores externos que resultam da presença física do provete na câmara.

Com base nestes resultados, foi possível calcular o coeficiente de absorção sonora, α , obtida pela equação 4.1:

$$\alpha = \frac{0.16 V}{A} * \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (4.1)$$

Nesta equação:

V – Volume da câmara (m^3);

A – Área de superfície útil do protótipo para absorção sonora (m^2);

T_2 – Tempo médio de reverberação com o provete na câmara (s);

T_1 – Tempo médio de reverberação com a câmara vazia (s).

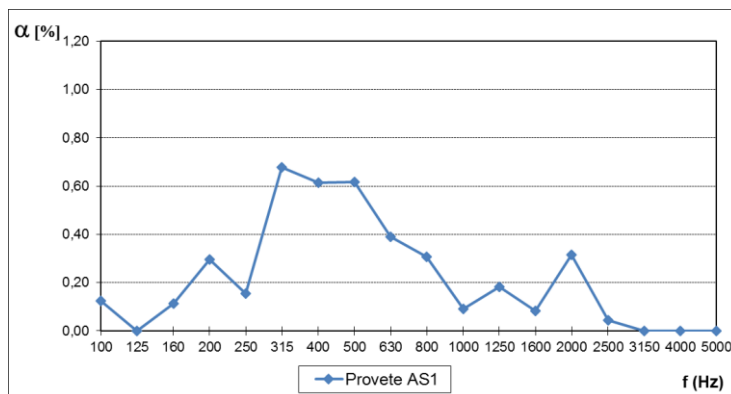


Figura 5.2 – Resultados de absorção sonora obtidos pelo provete AS1 nas bandas de frequências de terço de oitava.

De acordo com o exposto na norma EN ISO 11654 (CEN, 1997), e considerando a equação 4.1, foi possível a construção do gráfico da Figura 5.2, onde se constata um resultado com grande irregularidade. Pelo andamento do gráfico conjectura-se a presença de um comportamento combinado. Por um lado, as placas de cortiça uma massa volúmica de 30 kg/m^3 , devido à sua porosidade, contribuíram para o acréscimo da absorção sonora no domínio das frequências médias e influenciam o valor máximo atingido, com $\alpha (f=315 \text{ Hz}) = 0,68$. Por outro lado, se o provete AS1 for considerado um sistema análogo a um sistema ressonante, e for calculada a frequência de ressonância, tendo em conta a massa superficial do contraplacado de choupo, de acordo com a equação 2.13, obtém-se o valor aproximado de 350 Hz, o que poderá também explicar o pico obtido e a resposta do mesmo para frequências baixas. Para valores de absorção sonora superiores a essa frequência de ressonância, pode ser admitido o efeito de ressonâncias de segunda ordem, pela vibração diferenciada dos diversos constituintes do protótipo. O provete pode ser equiparado a um sistema massa-mola-massa, pelo que, se justificaria uma modelação teórica, por exemplo, com o *software* EASE.

Para finalizar a presente análise, adianta-se que, se hipoteticamente se procedesse à furação da placa de revestimento, as cavidades criadas constituiriam modelos análogos a ressoadores de *Helmholtz* e actuariam na gama de frequências médias, o que poderia ser bastante vantajoso.

Os valores dos resultados obtidos, por bandas de um terço de oitava, são então convertidos em valores da banda de oitava originando o gráfico da Figura 5.3, uma vez que a curva de referência é fornecida, também, em bandas de frequências de oitava.

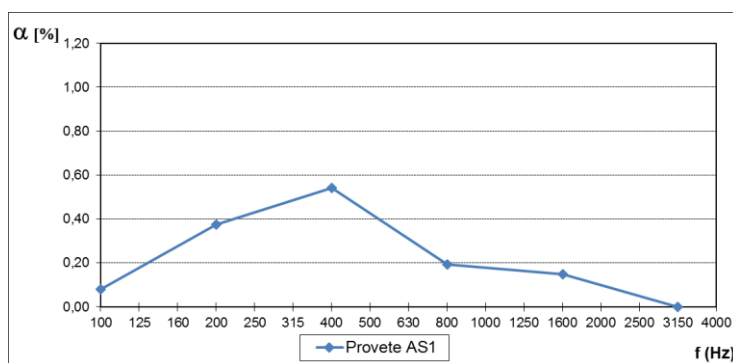


Figura 5.3 – Resultados de absorção sonora obtidos pelo provete AS1 nas bandas de frequências de oitava.

Posteriormente é feito o ajuste, Figura 5.4, recorrendo aos cálculos do Quadro 5.1, na curva de referência (vd. Figura 2.6, secção 2.5) e é determinando o índice de absorção sonora ponderado, que corresponde ao valor da ordenada da curva de referência ajustada para a banda de frequência central 500 Hz como mostra graficamente a Figura 5.5.

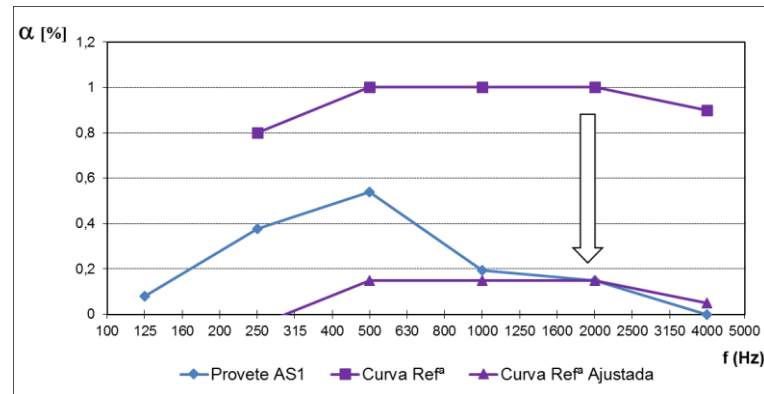


Figura 5.4 – Translação da curva de referência.

Quadro 5.1 – Cálculos efetuados para a determinação do coeficiente de absorção sonora ponderado.

f	Resultados de Ensaio α	Média da Oitava	Curva Refª	Curva Refª Ajustada	C.Aux	C.Aux	C.Aux	
100	0,12	0,08						
125	0,00							
160	0,11							
200	0,30	0,38	0,8	-0,05	0,43	0,00	0,43 ²⁷	
250	0,15							
315	0,68							
400	0,61	0,54	1	0,15	0,39	0,00	0,39 ²⁷	
500	0,62							
630	0,39							
800	0,31	0,19	1	0,15	0,04	0,00	0,00	
1000	0,09							
1250	0,18							
1600	0,08	0,15	1	0,15	0,00	0,00	0,00	
2000	0,32							
2500	0,04							
3150	0,00	0,00	0,9	0,05	-0,05	-0,05	0,00	
4000	0,00							
5000	0,00							
					Σ	-0,05	0,816	
					Valor de Ajustamento		0,85	
					Verificações	-0,05	<=0.10	
						0,816	>=0,25	
					α_w		0,15	

²⁷ Desvios em sentido favorável superiores a 0,25.

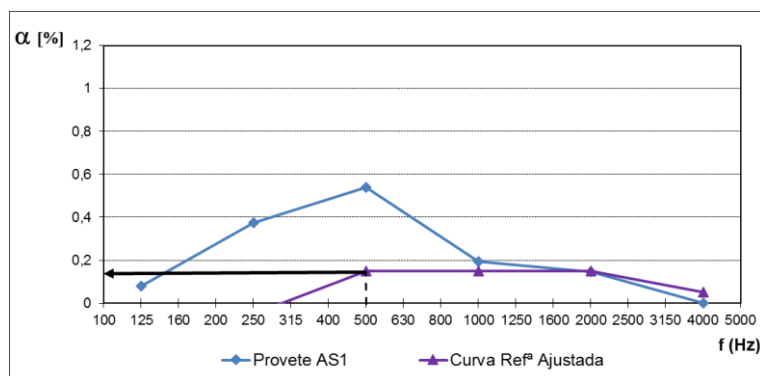


Figura 5.5 – Processo para obtenção do Índice de Isolamento Sonoro.

Com base nas mesmas Figuras, é ainda possível verificar um desvio em sentido favorável superior a 0,25, para o intervalo da banda de frequências de 250 Hz, pelo que é apenso a notação L.

A classe de absorção sonora é por fim retirada do Quadro 5.2.

Classe de absorção sonora	Coefficiente de absorção sonora ponderado α_w
A	0,90 a 1,00
B	0,80 a 0,85
C	0,60 a 0,75
D	0,30 a 0,55
E	0,15 a 0,25
Sem Classe	0,00 a 0,10

Quadro 5.2 – Classes de absorção sonora.

O resultado final apresenta-se da seguinte forma:

$$\alpha_w (\text{AS1}) = 0,15 (\text{L}) - \text{Classe de absorção E.}$$

5.2. ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO IS1

De acordo com o exposto no ponto 4.7.2, após a colocação do provete IS1 na abertura, realizou-se a medição do nível de pressão sonora no intervalo das bandas de um terço de oitava compreendido entre 100 Hz a 5000 Hz, nas câmaras emissora e receptora, segundo a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010)²⁸. Para gerar o campo sonoro foi utilizada uma fonte sonora que emitiu um ruído rosa.

Os resultados das medições encontram-se documentados nos Quadro 5.2, Quadro 5.3, Quadro 5.4, Quadro 5.5, Quadro 5.6 e Quadro 5.7.

²⁸ Os tempos de reverberação em câmara receptora foram medidos previamente, pela utilização da norma NP EN ISO 354 (IPQ,2007).

E1, E2, E3, E4, E5 – Representam os níveis de pressão sonora nas posições 1, 2, 3, 4, e 5 da sala emissora

R1,R2,R3, R4, R5 – Representam os níveis de pressão sonora nas posições 1, 2, 3, 4, e 5 da sala receptora

F1 e F2 posição da fonte sonora

Quadro 5.2 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,21	70,94	96,55	72,07	98,95	69,96	98,98	70,86	100,13	76,22
125	96,22	71,42	97,53	74,80	94,94	68,48	97,00	71,00	96,64	71,71
160	96,61	72,26	98,66	71,02	95,13	70,77	95,15	74,41	93,34	72,79
200	92,35	75,66	92,79	73,62	95,56	71,94	92,43	73,21	96,35	73,16
250	96,74	72,44	97,00	72,07	98,34	73,12	96,57	72,77	98,01	72,74
315	99,13	72,58	102,50	71,31	100,55	70,07	99,84	68,47	101,25	70,22
400	101,07	70,49	100,86	72,31	99,84	69,25	101,37	67,87	101,15	70,88
500	103,28	70,02	104,06	70,34	104,38	69,94	103,92	68,66	103,48	70,34
630	105,39	67,45	105,24	68,61	104,75	66,80	105,64	67,66	105,53	67,44
800	102,41	63,74	103,38	62,60	101,81	61,53	102,95	61,99	102,52	62,46
1000	100,26	59,65	101,02	58,94	100,86	58,56	100,34	58,33	100,36	59,40
1250	99,15	57,30	98,76	57,04	98,73	56,01	98,20	55,03	99,04	56,46
1600	100,83	60,48	100,80	60,56	100,57	59,84	100,63	59,23	101,54	59,84
2000	101,14	59,51	101,62	59,52	100,98	58,68	100,73	58,76	101,77	59,55
2500	100,64	55,86	100,29	56,08	100,58	55,44	100,52	55,37	100,54	54,97
3150	96,93	48,88	96,53	49,37	96,76	48,75	96,21	48,76	96,60	49,69
4000	91,17	43,62	91,26	43,89	90,66	43,44	90,72	43,30	90,96	43,73
5000	84,95	39,30	85,14	39,63	84,59	39,05	84,45	38,99	84,58	38,88

Quadro 5.3 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,29	71,11	96,51	72,05	98,97	69,97	98,93	70,83	100,10	76,18
125	96,13	71,38	97,49	74,78	94,98	68,51	96,96	70,96	96,63	71,69
160	96,36	72,17	98,58	70,95	95,12	70,77	95,07	74,34	93,28	72,72
200	92,39	75,90	92,69	73,50	95,53	71,90	92,32	73,09	96,24	73,05
250	96,63	72,47	96,89	71,95	98,31	73,08	96,44	72,64	97,89	72,63
315	99,12	72,30	102,39	71,19	100,54	70,02	99,71	68,33	101,14	70,10
400	100,93	70,44	100,74	72,19	99,79	69,21	101,24	67,73	101,05	70,77
500	103,23	70,00	103,93	70,23	104,32	69,90	103,78	68,55	103,38	70,22
630	105,32	67,38	105,14	68,52	104,72	66,77	105,53	67,54	105,46	67,35
800	102,39	63,64	103,28	62,50	101,77	61,50	102,85	61,88	102,44	62,38
1000	100,21	59,55	100,91	58,82	100,83	58,54	100,22	58,21	100,26	59,31
1250	99,12	57,24	98,67	56,94	98,70	56,00	98,11	54,94	98,96	56,39
1600	100,79	60,43	100,72	60,50	100,57	59,81	100,55	59,16	101,47	59,78

Quadro 5.4 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1 (continuação).

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
2000	101,17	59,53	101,52	59,47	100,95	58,66	100,66	58,68	101,70	59,48
2500	100,67	55,89	100,23	56,07	100,57	55,47	100,46	55,30	100,50	54,90
3150	96,85	48,78	96,47	49,26	96,71	48,71	96,09	48,61	96,50	49,56
4000	91,09	43,53	91,18	43,79	90,63	43,38	90,61	43,20	90,90	43,62
5000	84,75	39,21	85,00	39,61	84,48	38,98	84,30	38,87	84,43	38,83

Quadro 5.4 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,33	71,15	96,53	72,06	98,95	69,96	98,93	70,82	100,10	76,19
125	96,16	71,43	97,50	74,80	94,95	68,48	96,96	70,97	96,61	71,69
160	96,42	72,22	98,59	70,96	95,07	70,72	95,08	74,34	93,26	72,71
200	92,48	75,98	92,69	73,51	95,47	71,84	92,32	73,10	96,23	73,04
250	96,71	72,54	96,89	71,95	98,23	73,00	96,46	72,65	97,89	72,61
315	99,20	72,38	102,39	71,20	100,47	69,95	99,71	68,34	101,12	70,09
400	101,02	70,52	100,74	72,20	99,72	69,15	101,26	67,75	101,03	70,76
500	103,31	70,10	103,94	70,24	104,25	69,83	103,80	68,55	103,35	70,20
630	105,39	67,45	105,14	68,52	104,66	66,70	105,54	67,55	105,42	67,33
800	102,45	63,72	103,28	62,51	101,72	61,44	102,86	61,88	102,41	62,36
1000	100,27	59,61	100,93	58,81	100,77	58,48	100,23	58,22	100,24	59,30
1250	99,18	57,30	98,67	56,93	98,64	55,94	98,12	54,93	98,94	56,37
1600	100,84	60,48	100,73	60,50	100,53	59,77	100,56	59,17	101,45	59,76
2000	101,23	59,56	101,53	59,48	100,90	58,61	100,66	58,68	101,70	59,47
2500	100,73	55,99	100,24	56,09	100,55	55,42	100,47	55,30	100,49	54,90
3150	96,91	48,84	96,44	49,27	96,64	48,62	96,07	48,61	96,48	49,55
4000	91,16	43,57	91,17	43,81	90,57	43,31	90,61	43,20	90,88	43,63
5000	84,81	39,23	84,98	39,58	84,38	38,93	84,29	38,87	84,38	38,80

Quadro 5.5 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,75	68,29	97,64	71,04	99,33	65,66	99,11	69,28	98,95	74,08
125	97,36	75,35	99,10	74,94	100,23	71,80	98,29	73,30	97,39	78,96
160	103,00	78,93	102,56	73,70	99,90	75,89	103,35	79,23	101,23	75,68
200	96,81	73,88	97,04	71,43	96,06	72,45	95,77	71,78	97,53	72,34
250	94,75	68,55	95,65	69,04	91,38	71,53	95,23	69,20	93,60	68,58
315	100,10	69,60	97,80	70,23	97,69	69,30	97,92	68,58	97,04	69,18
400	103,76	71,41	102,35	72,35	103,58	69,46	102,48	69,66	102,81	70,70
500	105,53	70,26	103,40	69,47	103,92	69,15	102,23	69,05	103,05	71,33
630	105,76	66,82	104,90	67,82	104,03	67,12	105,48	66,20	104,66	68,61
800	102,78	62,68	102,22	62,62	102,19	62,16	101,87	62,45	102,20	62,68
1000	99,67	59,09	101,11	59,50	99,74	59,30	100,51	57,78	100,64	58,92
1250	98,73	57,56	98,84	57,17	98,49	56,27	98,83	56,47	98,92	57,06
1600	101,51	59,99	100,55	60,32	101,08	58,92	100,57	59,32	101,04	59,72
2000	100,93	59,69	100,79	60,13	100,88	58,39	100,91	58,20	100,83	59,40
2500	101,36	56,02	100,24	56,52	100,37	55,20	100,87	55,18	100,48	55,67
3150	97,43	49,43	96,18	49,33	96,30	49,11	96,78	48,94	96,21	49,21
4000	91,43	43,88	90,64	44,46	90,61	43,29	90,47	43,31	90,67	43,87
5000	84,61	39,20	84,90	39,57	84,23	39,03	84,70	39,05	84,55	39,40

Quadro 5.6 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,70	68,25	97,61	71,02	99,31	65,63	99,08	69,27	98,93	74,06
125	97,28	75,28	99,07	74,90	100,21	71,76	98,27	73,29	97,36	78,94
160	102,90	78,82	102,51	73,62	99,83	75,82	103,32	79,20	101,17	75,62
200	96,68	73,74	96,97	71,31	95,96	72,34	95,73	71,74	97,45	72,26
250	94,60	68,41	95,52	68,92	91,27	71,41	95,18	69,16	93,51	68,48
315	99,95	69,45	97,67	70,11	97,58	69,17	97,86	68,53	96,95	69,08
400	103,62	71,26	102,23	72,22	103,46	69,33	102,43	69,61	102,72	70,61
500	105,39	70,11	103,27	69,35	103,81	69,03	102,19	68,99	102,96	71,24
630	105,64	66,68	104,79	67,73	103,92	67,02	105,42	66,14	104,58	68,53
800	102,65	62,55	102,13	62,53	102,10	62,05	101,83	62,41	102,12	62,61
1000	99,54	58,96	101,01	59,39	99,65	59,19	100,45	57,73	100,56	58,83
1250	98,61	57,46	98,75	57,08	98,41	56,16	98,78	56,42	98,85	56,98
1600	101,40	59,89	100,47	60,26	101,00	58,86	100,53	59,29	100,97	59,64
2000	100,83	59,55	100,71	60,05	100,82	58,34	100,87	58,18	100,76	59,33
2500	101,28	55,92	100,17	56,44	100,30	55,14	100,81	55,15	100,44	55,62
3150	97,29	49,28	96,07	49,20	96,20	48,98	96,72	48,89	96,12	49,13
4000	91,33	43,76	90,53	44,34	90,50	43,18	90,41	43,29	90,58	43,80
5000	84,46	39,14	84,72	39,44	84,07	38,93	84,62	39,00	84,43	39,34

Quadro 5.7 – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS1.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,70	68,26	97,63	71,03	99,30	65,62	99,06	69,24	98,95	74,09
125	97,28	75,28	99,08	74,92	100,19	71,74	98,24	73,27	97,39	78,94
160	102,90	78,81	102,52	73,64	99,81	75,80	103,27	79,15	101,21	75,62
200	96,68	73,74	96,98	71,33	95,93	72,33	95,67	71,67	97,50	72,32
250	94,60	68,43	95,53	68,92	91,25	71,39	95,12	69,10	93,59	68,52
315	99,96	69,46	97,68	70,13	97,55	69,14	97,79	68,45	97,04	69,15
400	103,63	71,26	102,24	72,23	103,43	69,31	102,35	69,54	102,81	70,68
500	105,39	70,13	103,29	69,36	103,79	68,99	102,12	68,93	103,05	71,32
630	105,65	66,68	104,81	67,74	103,90	67,00	105,36	66,08	104,64	68,59
800	102,66	62,56	102,14	62,53	102,08	62,04	101,77	62,35	102,22	62,68
1000	99,55	58,95	101,03	59,39	99,61	59,15	100,39	57,70	100,60	58,92
1250	98,61	57,46	98,75	57,08	98,38	56,15	98,73	56,37	98,90	57,09
1600	101,39	59,90	100,49	60,27	100,97	58,84	100,48	59,24	101,01	59,64
2000	100,85	59,56	100,72	60,07	100,79	58,35	100,83	58,13	100,82	59,39
2500	101,29	55,92	100,19	56,48	100,28	55,10	100,77	55,11	100,48	55,61
3150	97,29	49,27	96,07	49,22	96,17	48,97	96,68	48,80	96,20	49,25
4000	91,35	43,75	90,56	44,36	90,46	43,18	90,35	43,21	90,68	43,85
5000	84,45	39,11	84,70	39,45	84,02	38,88	84,51	38,99	84,57	39,42

A secção 4.3 da norma EN ISO 10140-4 (CEN, 2010), obriga a que o nível de ruído de fundo seja, no mínimo, inferior em 6 dB (de preferência mais do que 15 dB), ao nível resultante do sinal e do ruído de fundo. Se a diferença dos níveis for inferior a 15 dB, mas superior a 6 dB, deve calcular-se um nível corrigido conforme a equação 4.2.

$$L = 10 \text{ LOG } (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (4.2)$$

Em que:

L – Representa o nível do sinal corrigido, expresso em decibéis;

L_{sb} – Representa o nível resultante do sinal e do ruído de fundo, expresso em decibéis;

L_b – Representa o nível do ruído de fundo, expresso em decibéis.

Se a diferença de níveis for menor ou igual a 6 dB deve utilizar-se a correcção de 1,3 dB, para qualquer que seja a banda de frequências. Esta correcção corresponde a uma diferença de níveis de 6 dB.

De forma a garantir que o ensaio IS1 cumpria a secção 4.3 da norma EN ISO 10140-4 (CEN, 2010), procedeu-se à medição do nível de ruído de fundo com a utilização do sonómetro Bruel & Kjaer tipo 2260. A combinação entre estas medições e os resultados do nível de pressão sonora em câmara receptora (do ensaio IS1) provou não existir necessidade de proceder à correcção do ruído de fundo, pois as diferenças entre estes níveis foram muito superiores ao que é exigido pela norma.

A título de exemplo, ilustra-se no gráfico da Figura 5.6, a comparação entre o nível de pressão sonora F1R1.1, e o nível de ruído de fundo.

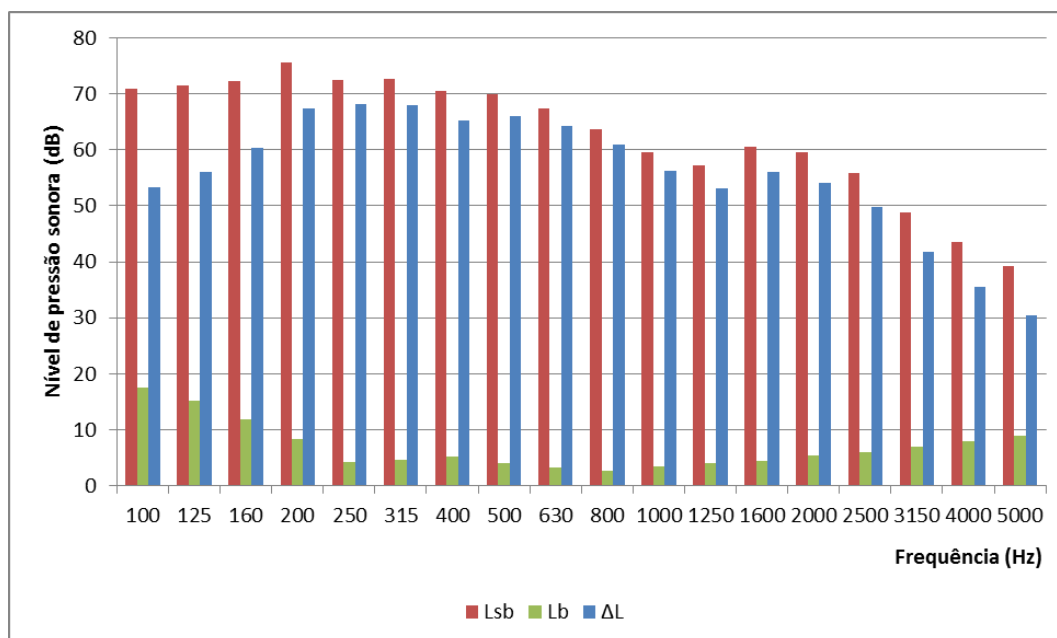


Figura 5.6 – Verificação da correcção do ruído de fundo.

Como se pode observar pela mesma Figura 5.6, as diferenças entre os níveis são claramente superiores a 15 dB, assegurando-se que as observações efectuadas em câmara receptora não são influenciadas por ruído perturbador. Acrescenta-se ainda que não houve necessidade de corrigir o ruído de fundo nos restantes ensaios pelo mesmo motivo referido.

Após a realização das medições referidas, calculou-se o parâmetro C, de acordo com as equações 4.3 e 4.4

$$C = 10 \text{ LOG} \left(\frac{S}{A} \right) \quad (4.3)$$

$$A = \frac{0,16 V}{T} \quad (4.4)$$

E posteriormente determinou-se o índice de redução sonora, R, dado pela equação 4.5:

$$R = L_1 - L_2 + C \quad (4.5)$$

Em que:

C = Parâmetro de correcção entre compartimentos adjacentes.

L_1 = Nível de pressão sonora no recinto emissor, calculado com recurso a média energética (dB);

L_2 = Nível de pressão sonora no recinto receptor corrigido em relação ao ruído de fundo e calculado com recurso a média energética (dB);

A = Área de absorção sonora equivalente da câmara de recepção (m^2);

S = Área de superfície útil do protótipo (m^2);

T = Tempo de reverberação médio da câmara receptora (s);

V = Volume da câmara receptora (m^3);

De seguida, verificou-se a influência das transmissões marginais utilizando a alínea A.3 do Anexo A da norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010). Calculou-se, com a equação 4.6, o isolamento sonoro corrigido do Provede, em decibéis.

$$R_M = -10 \text{ LOG} \left(\left(10^{\frac{R'_M}{10}} \right) - \left(10^{\frac{R'_F}{10}} \right) \right) \quad (4.6)$$

Em que:

R'_M = Isolamento sonoro do provede na abertura de ensaio (dB);

R'_F = Isolamento sonoro aparente da Parede (dB)

Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 5.8 e no Quadro 5.9.

Quadro 5.8 – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010) para o ensaio IS1.

f	T_r	C	L_1	L_2	$\Delta L = L_1 - L_2$	$R'_M = \Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	98,41	71,75	26,66	18,59
125	1,27	-9,03	97,68	74,12	23,56	14,53
160	0,94	-10,34	100,09	75,38	24,71	14,37
200	0,89	-10,56	95,58	73,10	22,48	11,93
250	0,82	-10,91	96,07	71,30	24,77	13,86
315	0,70	-11,62	99,65	70,04	29,61	17,99
400	0,67	-11,77	102,02	70,57	31,45	19,68
500	0,65	-11,93	103,74	69,86	33,88	21,95
630	0,68	-11,75	105,11	67,46	37,65	25,90
800	0,73	-11,42	102,41	62,47	39,94	28,52
1000	0,75	-11,32	100,42	58,92	41,50	30,18
1250	0,81	-10,97	98,73	56,64	42,08	31,12

Quadro 5.10 – Cálculos de acordo com a norma ISO EN 10140-2 (CEN, 2010) para o ensaio IS1 (continuação).

f	T_r	C	L₁	L₂	ΔL = L₁-L₂	R'_M = ΔL+C
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
1600	0,92	-10,44	100,88	59,81	41,07	30,63
2000	0,92	-10,44	101,03	59,19	41,85	31,40
2500	0,97	-10,20	100,57	55,63	44,94	34,74
3150	1,02	-9,98	96,55	49,09	47,46	37,48
4000	1,00	-10,06	90,82	43,63	47,18	37,13
5000	0,99	-10,11	84,58	39,16	45,41	35,30

Quadro 5.9 – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010) para o ensaio IS1.

f (Hz)	R'_F	R'_M	ΔR²⁹ = R'_F - R'_M	R_M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	18,59	11,54	18,90
125	30,72	14,53	16,19	14,53
160	37,61	14,37	23,24	14,37
200	37,22	11,93	25,30	11,93
250	39,08	13,86	25,23	13,86
315	42,95	17,99	24,95	17,99
400	44,33	19,68	24,65	19,68
500	46,14	21,95	24,19	21,95
630	46,61	25,90	20,71	25,90
800	49,17	28,52	20,65	28,52
1000	53,50	30,18	23,33	30,18
1250	54,20	31,12	23,08	31,12
1600	54,95	30,63	24,32	30,63
2000	57,93	31,40	26,53	31,40
2500	58,47	34,74	23,72	34,74
3150	61,60	37,48	24,11	37,48
4000	64,28	37,13	27,15	37,13
5000	60,19	35,30	24,89	35,30

Finalmente foi feito o ajuste, usando os valores constantes no Quadro 5.10, sobre a curva de referência e determinou-se o índice de isolamento sonoro, que corresponde ao valor da ordenada da curva de referência ajustada para a banda de frequência central 500 Hz.

O Quadro 5.11 e o Quadro 5.13 apresentam o cálculo dos termos de adaptação espectral, C e C_{tr}, de acordo com o anexo C da norma NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013).

Utilizaram-se os espectros na gama de frequências de 100 Hz a 3150 Hz, uma vez que não se dispunham de medições, na gama de frequências alargada (50 Hz a 5 kHz).

²⁹ Se $\Delta R \leq 6$, $R'_M = R'_M + 1,3$ [dB] para todas as bandas de frequências;
 Se $\Delta R < 15$, aplica-se a equação 4.6, para todas as bandas de frequências.
 Caso $\Delta R > 15$, $R'_M = R_M$ para todas as bandas de frequências.

Quadro 5.10 – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS1.

f	R	Curva de referência	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	18,9	33	25	8	0,00
125	14,5	36	25	11	0,00
160	14,4	39	25	14	0,00
200	11,9	42	25	17	-5,07
250	13,9	45	25	20	-6,14
315	18,0	48	25	23	-5,01
400	19,7	51	25	26	-6,32
500	21,9	52	25	27	-5,05
630	25,9	53	25	28	-2,10
800	28,5	54	25	29	-0,48
1000	30,2	55	25	30	0,00
1250	31,1	56	25	31	0,00
1600	30,6	56	25	31	-0,37
2000	31,4	56	25	31	0,00
2500	34,7	56	25	31	0,00
3150	37,5	56	25	31	0,00
4000	37,1				
5000	35,3				
				Σ	-30,549
				Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB	-30,549
				R_w	27

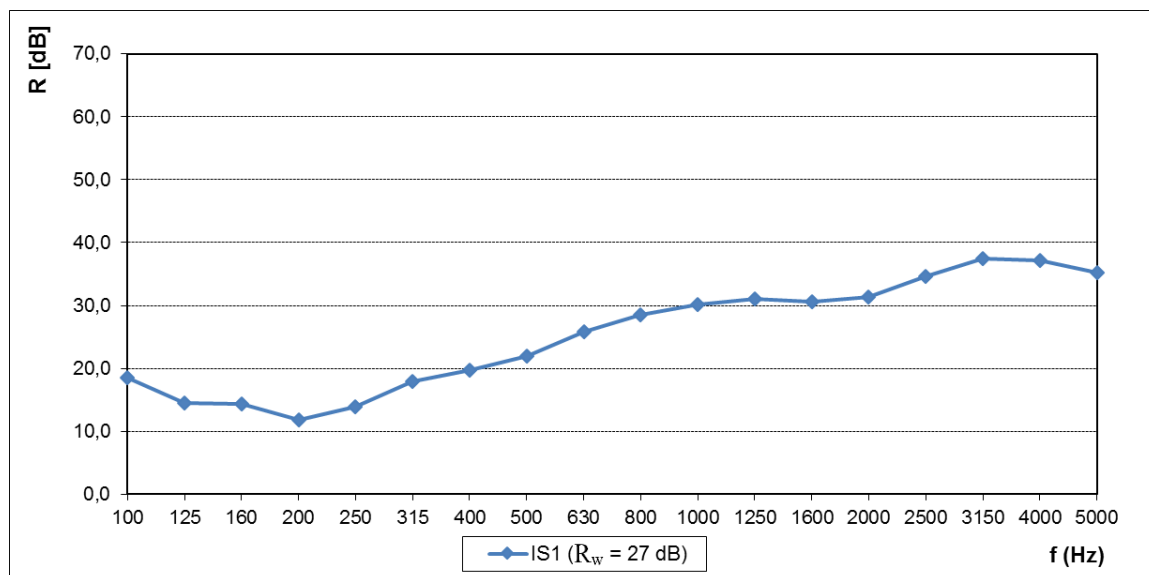
Quadro 5.11 – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i1}	R	$L_{i1}-R$	$10^{(L_{i1}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	18,9	-47,9	1,62E-05
125	-26	14,5	-40,5	8,85E-05
160	-23	14,4	-37,4	1,83E-04
200	-21	11,9	-32,9	5,10E-04
250	-19	13,9	-32,9	5,18E-04
315	-17	18,0	-35,0	3,17E-04
400	-15	19,7	-34,7	3,40E-04
500	-13	21,9	-34,9	3,20E-04
630	-12	25,9	-37,9	1,62E-04
800	-11	28,5	-39,5	1,12E-04
1000	-10	30,2	-40,2	9,60E-05
1250	-9	31,1	-40,1	9,74E-05
1600	-9	30,6	-39,6	1,09E-04
2000	-9	31,4	-40,4	9,11E-05
2500	-9	34,7	-43,7	4,22E-05
3150	-9	37,5	-46,5	2,25E-05
$\Sigma 1$				3,03E-03
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 1)$				25,19
$R_w = 52 - \text{valor de ajustamento}$				27
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-2

Quadro 5.12 – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i2}	R	$L_{i2}-R$	$10^{(L_{i2}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-20	18,9	-38,9	1,29E-04
125	-20	14,5	-34,5	3,52E-04
160	-18	14,4	-32,4	5,79E-04
200	-16	11,9	-27,9	1,61E-03
250	-15	13,9	-28,9	1,30E-03
315	-14	18,0	-32,0	6,32E-04
400	-13	19,7	-32,7	5,39E-04
500	-12	21,9	-33,9	4,03E-04
630	-11	25,9	-36,9	2,04E-04
800	-9	28,5	-37,5	1,77E-04
1000	-8	30,2	-38,2	1,52E-04
1250	-9	31,1	-40,1	9,74E-05
1600	-10	30,6	-40,6	8,64E-05
2000	-11	31,4	-42,4	5,75E-05
2500	-13	34,7	-47,7	1,68E-05
3150	-15	37,5	-52,5	5,65E-06
$\Sigma 2$				6,35E-03
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				21,97
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				27
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-5

Na Figura 5.7 apresenta-se a curva característica do isolamento sonoro a sons aéreos obtida, relativa ao protótipo com a configuração IS1.

Figura 5.7 – Curva característica³⁰ do isolamento sonoro para o provete IS1.

$$R_w = (C; C_{tr}) = 27 \text{ } (-2;-5) \text{ dB}$$

³⁰ Também designada por curva de perdas de transmissão de energia sonora.

5.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ISOLAMENTO SONORO

A mesma metodologia foi seguida, na íntegra, para os restantes ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos, apresentando-se esses mesmos cálculos nos anexos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Os resultados obtidos resumem-se no Quadro 5.13.

Quadro 5.13 – Resultados dos ensaios de isolamento sonoro para as diferentes tipologias ensaiadas.

f (Hz)	IS1	IS2	IS3	IS4	IS5
	27 (-2;-5) dB	30 (-2;-5) dB	32 (-2;-5) dB	32 (-2;-7) dB	36 (-3;-7) dB
100	18,9	20,3	20,7	12,9	14,2
125	14,5	16,3	16,9	11,9	16,1
160	14,4	14,4	15,4	15,0	17,8
200	11,9	13,5	15,3	15,7	21,4
250	13,9	17,7	21,9	21,6	25,4
315	18,0	21,9	25,4	27,8	30,9
400	19,7	25,2	28,4	30,7	32,9
500	21,9	26,8	29,3	32,2	35,1
630	25,9	30,6	33,1	35,4	37,5
800	28,5	33,6	35,2	37,7	39,2
1000	30,2	35,5	36,2	37,0	39,3
1250	31,1	35,0	35,3	34,4	37,5
1600	30,6	33,8	32,5	35,2	37,9
2000	31,4	34,6	33,7	35,1	38,5
2500	34,7	37,5	37,1	36,7	40,1
3150	37,5	40,7	40,5	39,0	42,9
4000	37,1	40,8	40,5	38,8	43,0
5000	35,3	37,1	37,5	36,4	38,4

Quadro 5.14 – Resultados dos ensaios de isolamento sonoro para as diferentes tipologias ensaiadas. (continuação).

f (Hz)	IS6	IS7	IS8	IS9
	36 (-1;-5) dB	37 (-2;-6) dB	35 (-1;-5) dB	39 (-2;-7) dB
100	16,7	17,3	16,1	17,7
125	18,0	18,1	18,2	18,5
160	19,7	19,7	19,1	20,7
200	23,9	23,7	23,2	25,0
250	28,1	28,6	28,6	28,6
315	33,6	33,4	32,2	33,9
400	33,5	33,5	32,1	34,6
500	35,3	35,5	33,7	36,5
630	37,3	37,5	36,0	37,9
800	40,0	40,4	38,7	39,9
1000	39,7	39,6	36,2	41,9
1250	37,2	37,7	33,9	42,5
1600	36,9	36,9	36,7	43,3
2000	37,5	37,4	36,8	44,1
2500	39,2	38,8	39,3	46,3
3150	41,6	41,8	41,7	47,4
4000	41,6	42,1	40,7	44,5
5000	37,8	37,8	36,5	38,5

5.4. ENSAIO DE MEDIÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Após o posicionamento do provete NS5 na abertura de ensaio, accionou-se a fonte sonora da Bruel & Kjaer tipo 4224 e procedeu-se à medição da pressão sonora com recurso à utilização do sonómetro Bruel & Kjaer tipo 2260. Foram realizadas três medições na câmara emissora, na base, no centro e no topo. Na câmara receptora foram executadas 9 medições distribuídas uniformemente (três por altura), como se apresenta na esquematização da Figura 5.8.

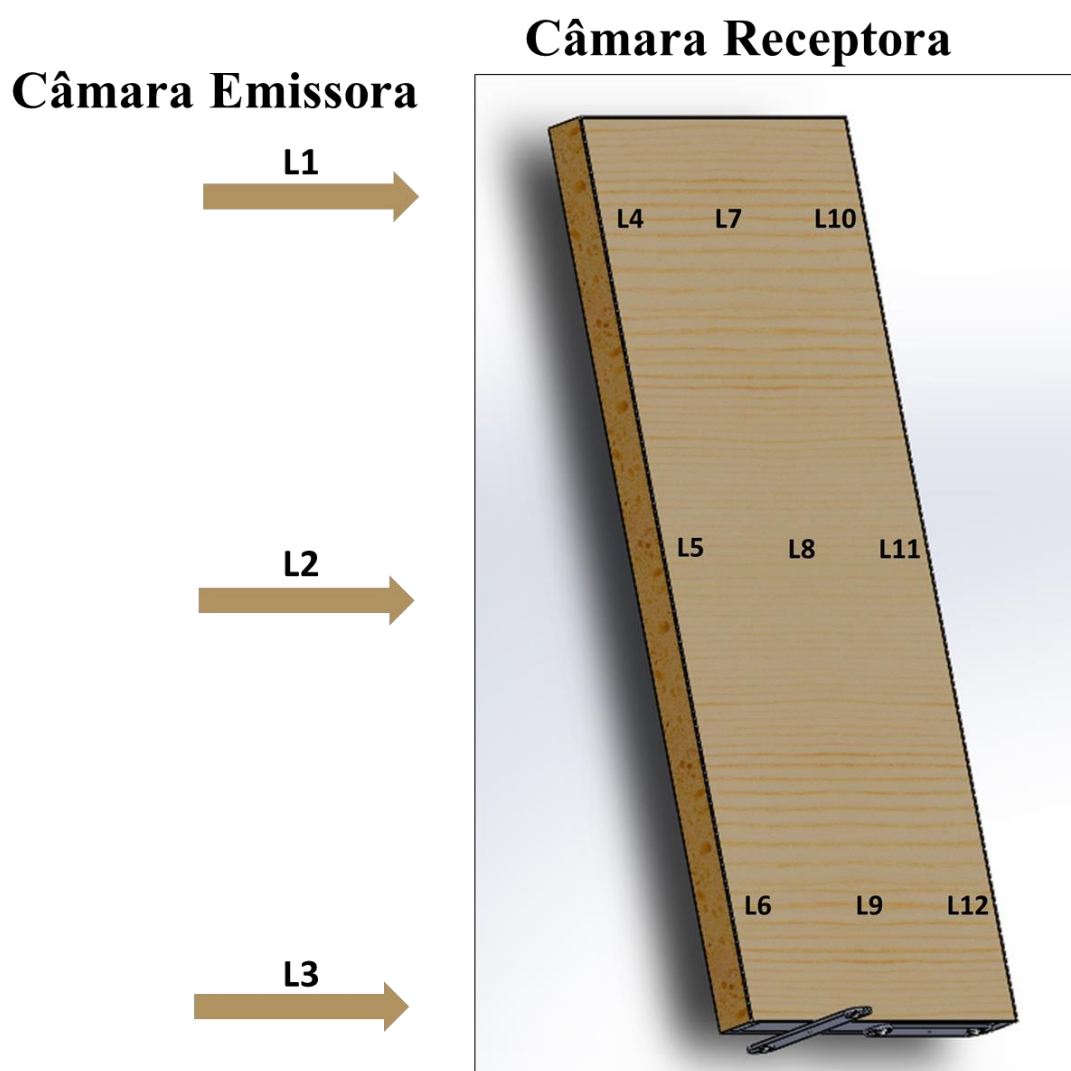


Figura 5.8 – Esquematização das zonas onde foram feitas as medições.

O Quadro 5.15 ilustra os valores do nível de pressão sonora medidos para a gama de frequências compreendidas entre 100 Hz e 5000 Hz, nas zonas definidas na Figura 5.7.

Quadro 5.14 – Resultados do ensaio do nível de pressão sonora para as diferentes zonas do provete NS5.

f (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	L3 (dB)	L4 (dB)	L5 (dB)	L6 (dB)
100	102,9	101,2	101,0	83,1	83,1	88,0
125	101,0	102,2	100,2	82,6	83,4	84,9
160	98,9	98,0	99,0	81,2	81,5	80,1
200	89,6	89,0	90,7	69,5	67,1	68,8
250	87,1	88,1	88,3	70,6	63,4	63,9
315	97,0	95,4	96,3	71,8	64,3	67,7
400	101,2	101,0	102,3	69,3	64,4	67,6
500	102,3	101,7	101,7	63,4	66,4	65,2
630	103,5	101,6	102,6	63,4	64,7	63,2
800	99,6	100,5	100,9	59,7	61,6	57,6
1000	99,2	98,4	98,4	57,2	60,2	59,0
1250	96,6	96,8	96,3	55,4	57,8	59,0
1600	98,4	98,4	98,0	57,8	60,1	62,9
2000	99,1	99,1	99,3	56,8	59,4	62,1
2500	99,4	98,9	99,0	54,3	55,7	59,1
3150	95,2	95,8	95,4	48,7	50,2	54,0
4000	90,8	90,1	89,8	42,3	42,9	46,4
5000	84,4	84,1	84,3	36,4	37,0	39,1
L*	112,1	111,5	112,0	88,4	88,6	91,1

*A letra “L” representa o valor determinado pela média energética dos valores do nível de pressão sonora, ao longo das frequências, em cada zona.

Quadro 5.15 – Resultados do ensaio do nível de pressão sonora para as diferentes zonas do provete NS5 (continuação).

f (Hz)	L7 (dB)	L8 (dB)	L9 (dB)	L10 (dB)	L11 (dB)	L12 (dB)
100	84,3	85,5	89,4	82,7	85,0	86,9
125	84,5	85,5	86,5	84,4	84,3	85,6
160	83,5	82,7	79,9	81,1	81,4	79,7
200	71,6	67,9	69,7	71,4	68,4	70,3
250	69,1	61,7	64,1	67,1	62,0	63,5
315	67,6	62,0	65,0	69,9	61,8	68,0
400	65,3	62,5	65,9	69,3	62,5	68,7
500	67,2	64,0	67,5	64,3	63,9	68,1
630	64,7	63,6	63,8	64,3	63,4	68,3
800	60,6	59,4	60,4	59,6	56,6	63,3
1000	58,7	57,7	62,6	56,1	56,8	63,3
1250	57,4	58,2	62,2	58,1	58,3	65,9
1600	58,6	58,4	64,1	57,2	59,7	66,9
2000	57,2	58,6	64,1	58,3	58,2	66,4
2500	55,3	54,7	62,8	55,8	54,9	63,4
3150	49,3	49,4	56,6	49,2	48,2	57,0
4000	43,2	43,6	47,8	43,3	42,5	49,8
5000	36,1	38,2	39,6	36,8	36,9	47,0
L*	89,9	90,2	92,4	88,9	89,5	90,8

*A letra “L” representa o valor determinado pela média energética dos valores do nível de pressão sonora, ao longo das frequências, em cada zona.

De forma a correlacionar os resultados do Quadro 5.15, calculou-se a média energética dos níveis de pressão sonora L6, L9, L12 (Base). Procedeu-se da mesma forma para L5, L8, L11 (Centro) e finalmente para L4, L7 e L10 (Topo). Subtraiu-se o primeiro conjunto de resultados a L3, o segundo conjunto de resultados a L2 e o terceiro conjunto de resultados a L1. Deste modo, determinou-se o isolamento bruto do protótipo, em cada uma das 3 alturas, Base, Centro e Topo.

Na Figura 5.9 apresenta-se sob a forma gráfica os resultados calculados.

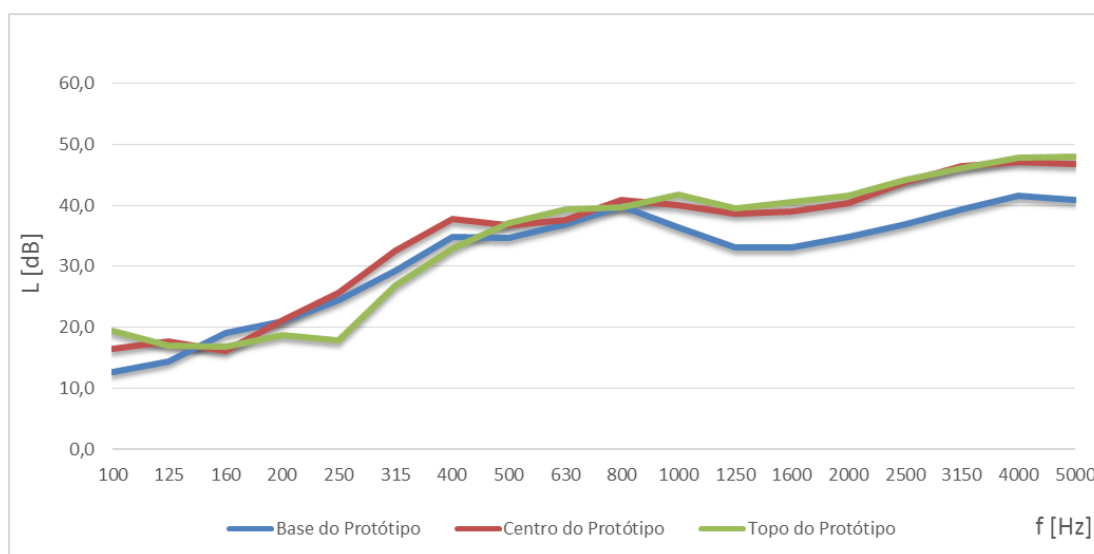


Figura 5.9 – Isolamento sonoro bruto do módulo em cada uma das 3 alturas analisadas.

A zona de maior perda sonora foi a Base do Protótipo, representada pela curva azul, onde os níveis de isolamento sonoro bruto foram menores (e simultaneamente onde foram registados os maiores valores de pressão sonora).

Os resultados foram expectáveis e justificam-se pela presença de componentes mecânicos, que permitem o funcionamento dos sistemas de mobilidade e elevação, que ocupam inevitavelmente espaço útil que não pôde ser preenchido com material de preenchimento (material poroso). Face a esta confirmação, aumentou-se a quantidade de lã de vidro (cerca de 15%) nas regiões periféricas a essas componentes. Este aspecto diferencia o provete IS7 do provete IS9, e permitiu naturalmente um melhor resultado no ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos.

Finalmente, apresentam-se no Quadro 5.16, os níveis de pressão sonora para as diferentes zonas do provete NS5, ponderados pela malha A.

Quadro 5.15 – Resultados do ensaio do nível de pressão sonora para as diferentes zonas do provete NS5, ponderados pela malha A.

f (Hz)	L1 [dB(A)]	L2 [dB(A)]	L3 [dB(A)]	L4 [dB(A)]	L5 [dB(A)]	L6 [dB(A)]
A**	109,4	109,0	109,3	74,3	74,2	75,5
f (Hz)	L7 [dB(A)]	L8 [dB(A)]	L9 [dB(A)]	L10 [dB(A)]	L11 [dB(A)]	L12 [dB(A)]
A**	75,2	74,7	76,8	74,5	74,0	77,4

**A letra “A” representa o valor determinado pela média energética dos valores do nível de pressão sonora ao longo das frequências em cada zona (Quadro 5.15), ponderado pela Malha A.

6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Como referência e forma de comparação de resultados, foram recolhidos dados de ensaios de absorção sonora realizados no LNEC, relativos a materiais considerados bons absorventes sonoros, nomeadamente duas placas de aglomerado de cortiça natural da CortiPAN:

- Cortipan³¹ – 1000x500x20 mm
- Cortipan²⁵ – 1000x500x60 mm

Os resultados são apresentados no Quadro 6.1 por bandas de frequências de terço de oitava e por bandas de frequências de oitava.

Quadro 6.1 – Comparação entre os resultados obtidos pelo provete AS1 e pelas de placas de cortiça.

Provete AS1			Placas de Cortiça de 20 mm			Placas de Cortiça de 60 mm		
f (Hz)	$\alpha/3$ oitava	α /oitava	f (Hz)	$\alpha/3$ oitava	α /oitava	f (Hz)	$\alpha/3$ oitava	α /oitava
100	0,12	0,10	100	0,01	0,02	100	0,04	0,06
125	0,05		125	0,01		125	0,03	
160	0,11		160	0,04		160	0,10	
200	0,30	0,38	200	0,05	0,05	200	0,27	0,34
250	0,15		250	0,04		250	0,24	
315	0,68		315	0,07		315	0,50	
400	0,61	0,54	400	0,09	0,11	400	0,67	0,82
500	0,62		500	0,09		500	0,92	
630	0,39		630	0,14		630	0,86	
800	0,31	0,19	800	0,24	0,46	800	0,71	0,58
1000	0,09		1000	0,49		1000	0,57	
1250	0,18		1250	0,67		1250	0,46	
1600	0,08	0,15	1600	0,70	0,56	1600	0,52	0,56
2000	0,32		2000	0,57		2000	0,60	
2500	0,04		2500	0,41		2500	0,56	
3150	0,00	0,00	3150	0,41	0,46	3150	0,57	0,62
4000	0,00		4000	0,45		4000	0,64	
5000	0,00		5000	0,53		5000	0,67	
$\alpha_w = 0,15$			$\alpha_w = 0,20$			$\alpha_w = 0,55$		

Pela análise do gráfico da Figura 6.1, e considerando o resultado final da secção 5.1, conclui-se que o provete AS1 é maioritariamente reflectante, não proporcionando absorção sonora significativa. Para baixas frequências, concretamente até às bandas de frequências de 250 Hz, o elemento revela um comportamento muito semelhante às placas de cortiça de 60 mm, intervalo onde existe pouca absorção sonora, com valores de α abaixo dos 0,30. Na gama de frequências entre 250 Hz a 1 kHz denota-se o efeito indiciado pela presença de cortiça no interior do módulo já que é notória a semelhança de curvaturas apresentada em ambos os gráficos.

³¹ Segundo a CortiPAN, as superfícies das placas foram retificadas por lixagem até ficarem lisas.

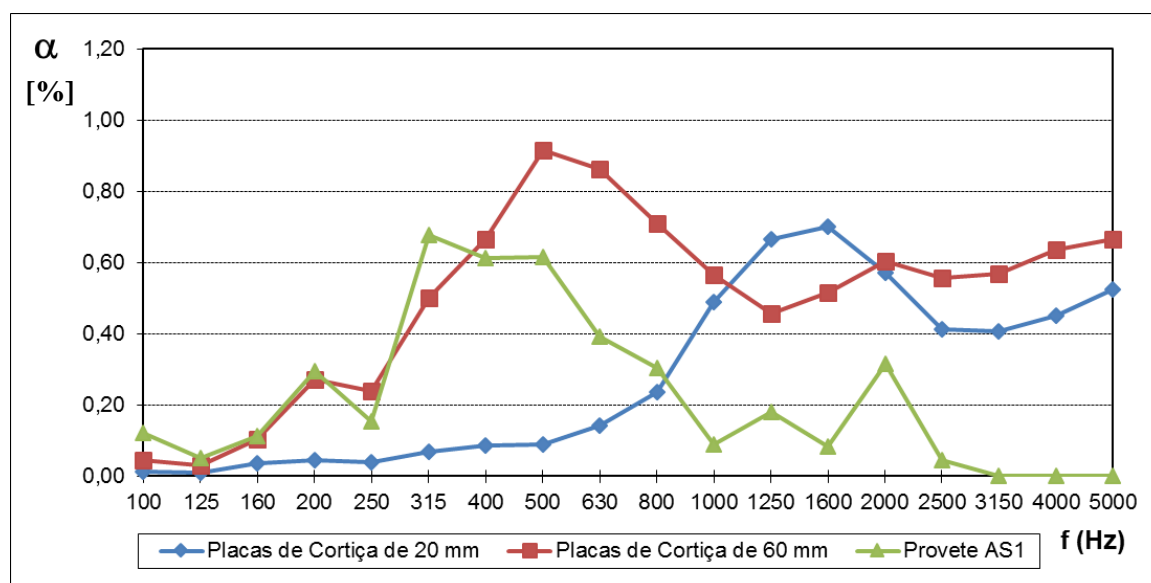


Figura 6.1 – Análise comparativa da absorção sonora entre o provete AS1 e as placas de cortiça para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

Finalmente, nas bandas de frequências entre 1 kHz a 5 kHz, revela um comportamento pouco apreciável com grandes irregularidades.

Apesar do provete conter material poroso no seu interior, nomeadamente placas de cortiça, o contraplacado de choupo como superfície exposta do provete (plana e rígida), inibe parcialmente a propagação de ondas sonoras, reflectindo-as e contribuindo para os resultados obtidos.

Os revestimentos restantes, integrados no presente estudo, têm dimensões, planeza e rigidez muito semelhantes pelo que, por razões de limitação temporal, optou-se por não se realizar sobre estes mais ensaios de absorção sonora, já que os resultados dificilmente se afastariam do obtido.

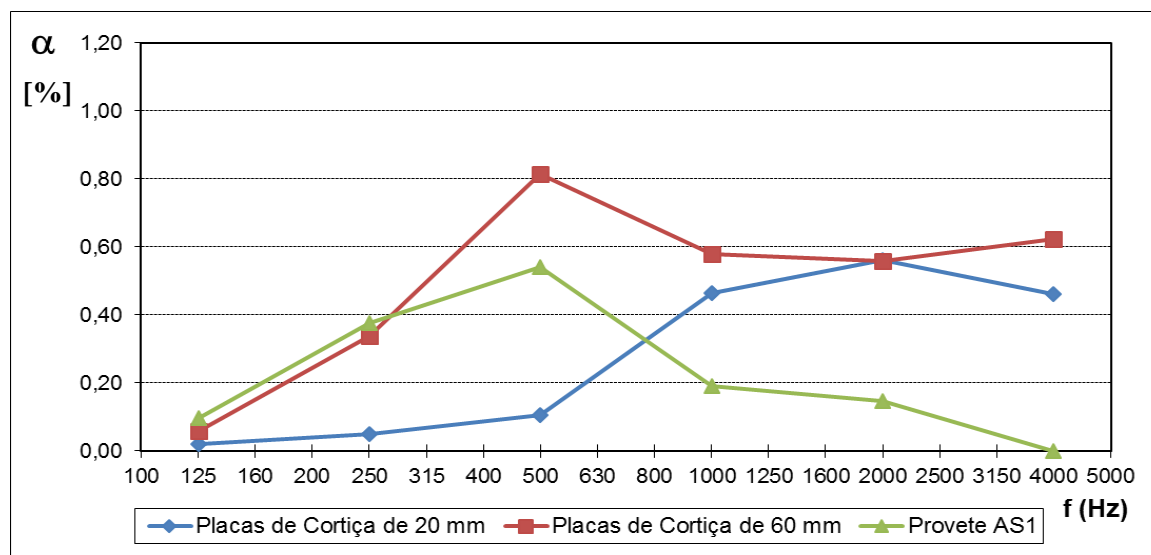


Figura 6.2 – Análise comparativa da absorção sonora entre o provete AS1 e as placas de cortiça para bandas de frequências com largura de oitava.

A Figura 6.2 confirma as ilações retiradas do gráfico anterior, onde se revela que o comportamento para a gama de interesse, intervalo das bandas de frequências médias e altas, é pouco absorvente.

Em relação aos ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos, analisaram-se os resultados obtidos nos nove ensaios realizados que, por sua vez, resultaram em oito estudos distintos. Cada estudo contempla a combinação de dois ou mais provetes ensaiados e têm o seu ponto de partida na comparação gráfica entre desempenhos.

Desta forma, na Figura 6.3, é analisada a influência dos diferentes revestimentos, Contraplacado de choupo, Osb e Mdf, face à existência de um único material de preenchimento da caixa-de-ar, placas de aglomerado de cortiça.

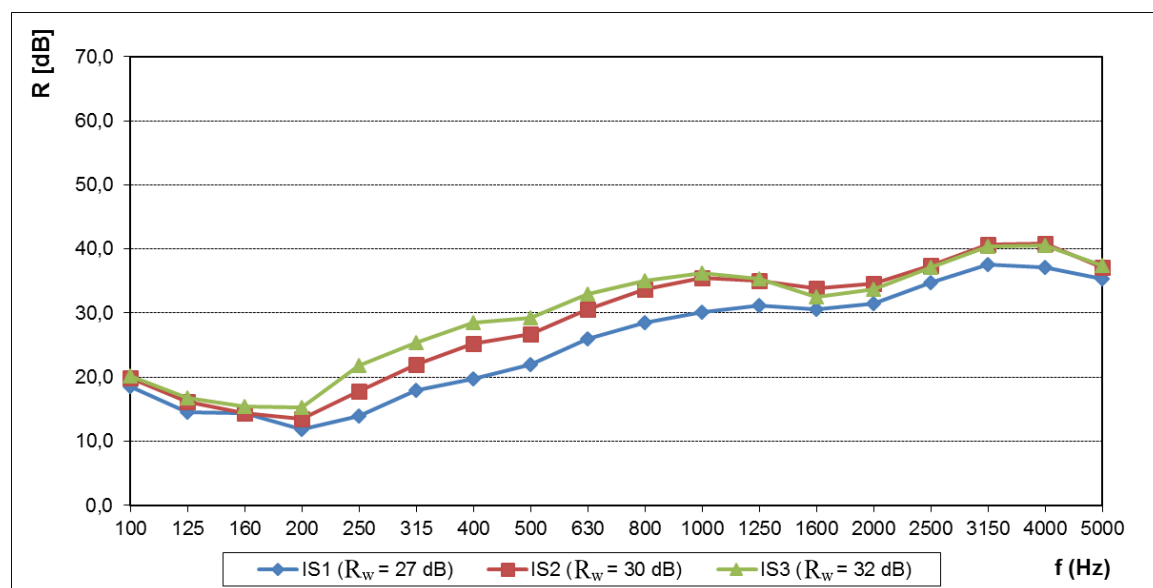


Figura 6.3 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS1, IS2 e IS3.

Nesta primeira reflexão, observa-se um comportamento decrescente, embora muito semelhante, para os três provetes, até às bandas de frequências de 200 Hz, típico da zona da rigidez (vd. Figura 2.12).

Na banda de 200 Hz, verifica-se uma inversão no comportamento, onde se conjectura a influência de ressonâncias de baixa ordem.

Na gama de frequências dos 200 Hz a 1 kHz, existe uma tendência crescente no valor do isolamento sonoro, para os 3 provetes, evidenciando a influência da massa.

No intervalo das bandas de frequências de 1 kHz a 4 kHz observa-se um comportamento análogo ao da zona da coincidência, onde o controlo é feito por efeito de ressonância.

Observando o intervalo entre 1,5 kHz a 4 kHz, pode-se constatar que os valores obtidos com placas de Osb foram superiores aos valores obtidos com placas de Mdf.

Globalmente, o Mdf é o revestimento com melhor desempenho, seguido pelo Osb, sendo o contraplacado de choupo aquele que evidenciou piores resultados para todas as bandas de frequências consideradas.

No segundo estudo, aborda-se novamente o efeito dos três revestimentos considerando um único material de preenchimento, neste caso painéis Kraft TP 216 ou lã de vidro.

Como pode ser observado na Figura 6.4, a tendência mantém-se, isto é, placas de Mdf, Osb e Contraplacado de choupo ordenadas por ordem decrescente de desempenho. No entanto, a diferença entre os valores dos dois primeiros revestimentos é muito reduzida pelo que se conjectura que o Osb perde nas baixas frequências devido ao défice de massa face ao Mdf.

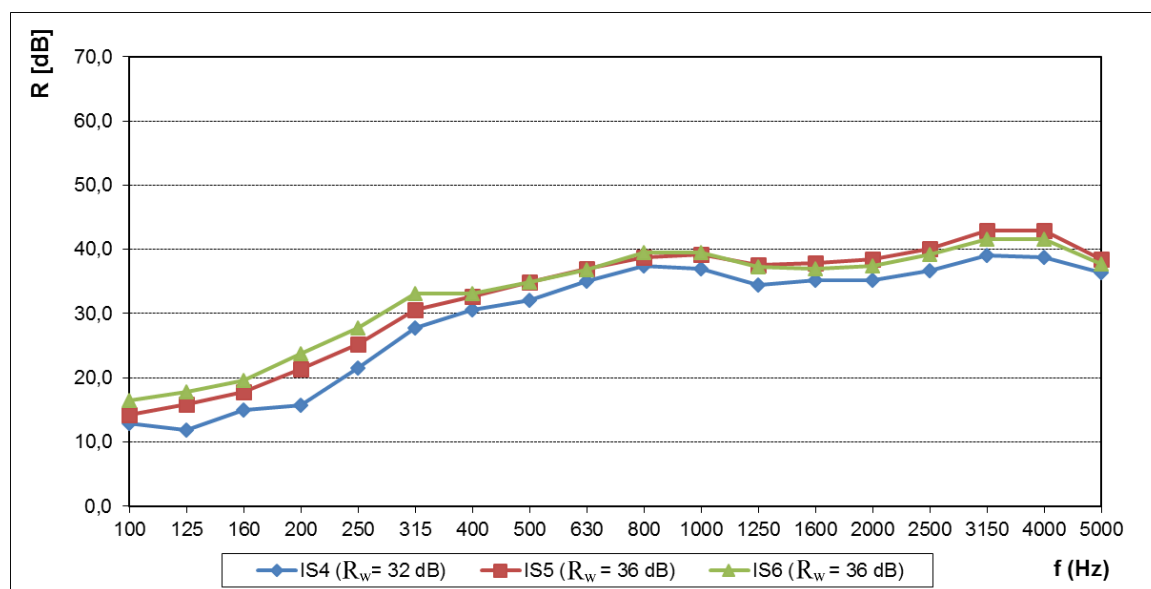


Figura 6.4 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS4, IS5 e IS6.

Para o intervalo das bandas de frequências de 100 Hz a 800 Hz, os valores de isolamento são crescentes para todos os provetes, decrescendo até às bandas de frequência de 1,25 kHz e crescendo novamente até às bandas de 4 kHz. Finalmente na gama de 4 kHz a 5 kHz, à semelhança do ensaio anterior, existe uma perda de isolamento sonoro. De uma forma grosseira, o desempenho obtido resume-se a uma curva característica do provete que sofre translações positivas ou negativas consoante o tipo de revestimento.

Outro aspecto relevante é que o revestimento em placas de Osb, também para este ensaio, comprovou ser melhor que o revestimento em placas de Mdf, para a gama das altas frequências, concretamente a partir das bandas de frequências dos 1250 Hz.

Na Figura 6.5 apresentam-se os resultados do sistema revestido por placas de contraplacado de choupo e incorporando placas de cortiça (proвете IS1) ou painéis em lã de vidro (proвете IS4).

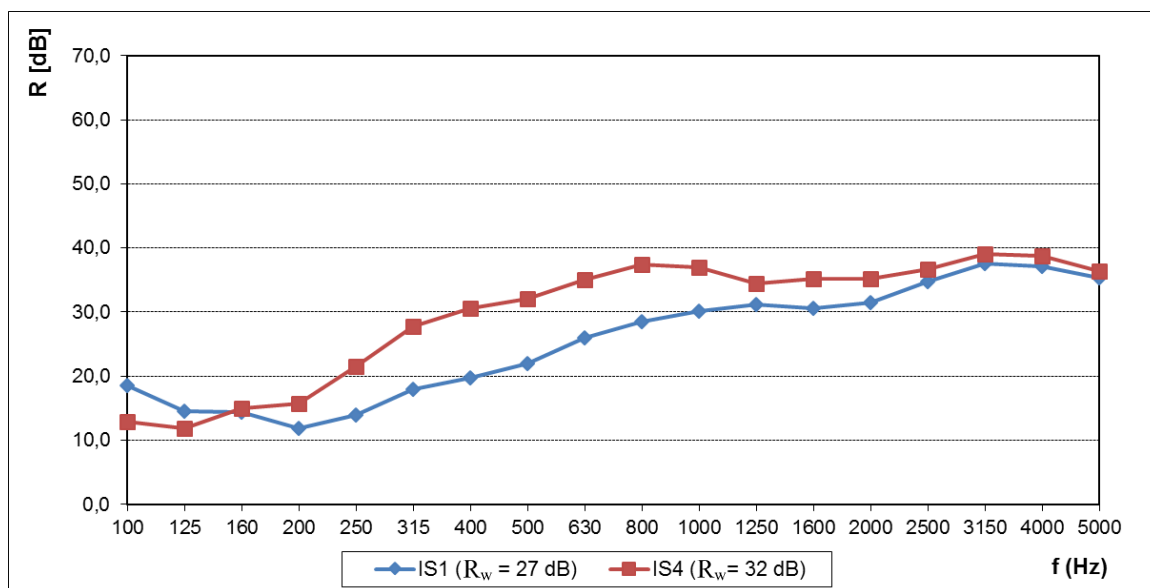


Figura 6.5 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS1 e IS4.

É visível, até às bandas de frequências de 160 Hz, que as placas de cortiça têm um comportamento melhor do que a lã de vidro, possivelmente devido à rigidez das próprias placas já que os painéis de lã são muito deformáveis. A partir das bandas de frequências de 160 Hz a 5 kHz, a lã de vidro é indubitavelmente melhor, especialmente para a gama de frequências de interesse.

Na análise proporcionada pela Figura 6.6, averigua-se uma vez mais, a influência da lã de vidro em detrimento da utilização da cortiça, para um único revestimento, placas de Osb.

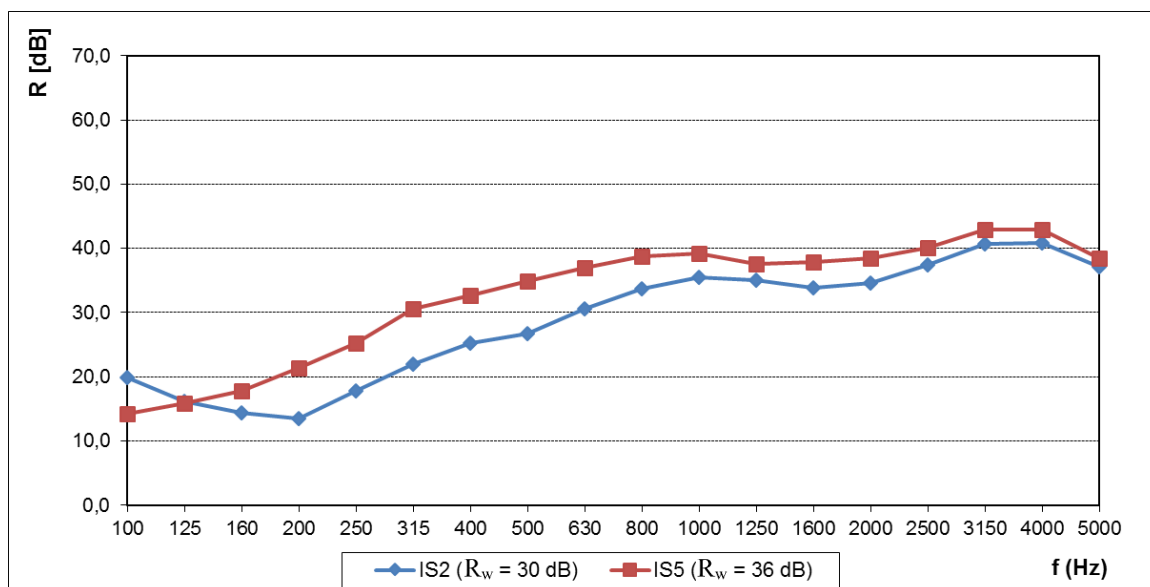


Figura 6.6 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS2 e IS5.

A lã de vidro tem um comportamento indiscutivelmente melhor do que as placas de cortiça, à excepção do intervalo inicial, das bandas de frequências compreendidas entre 100 Hz e 125 Hz.

Com recurso à Figura 6.7 estuda-se novamente o impacto de diferentes materiais de preenchimento para um único revestimento, o Mdf.

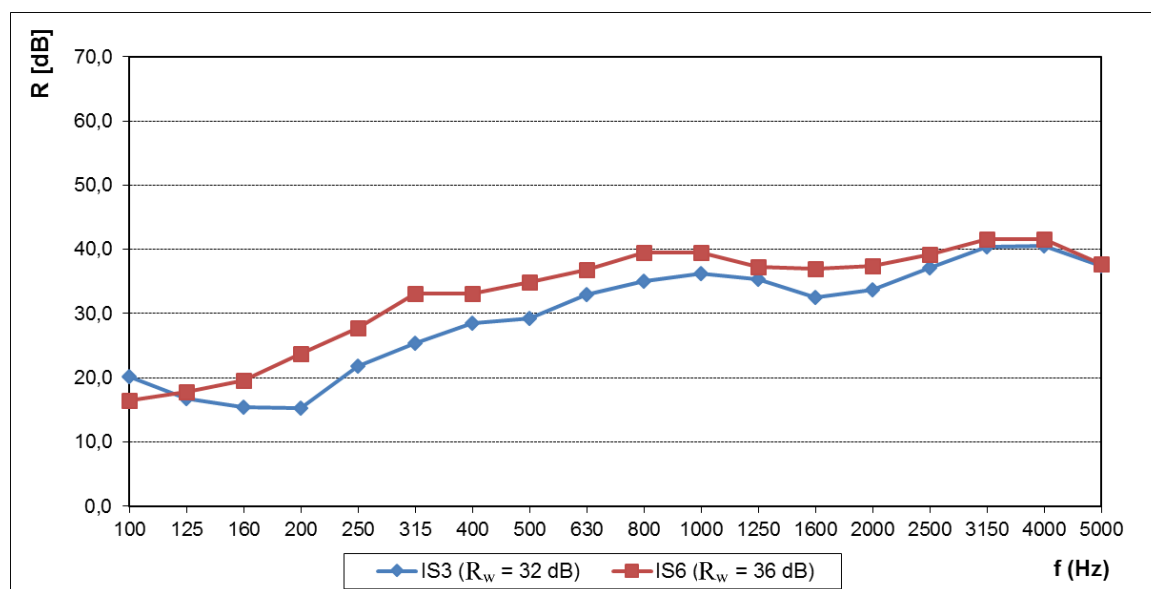


Figura 6.7 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS3 e IS6.

Uma vez mais, a tendência mantém-se, ou seja, observa-se um resultado coerente com os estudos anteriores, já que os provetes que incorporam lã de vidro têm um desempenho superior aos provetes que contêm placas de cortiça exceptuando o intervalo inicial da gama de frequências balizada entre 100 Hz a 125 Hz.

Outra conclusão que se retira é que quanto mais denso for o revestimento, menor o intervalo inicial onde os provetes com placas de cortiça tem um comportamento superior aos provetes que contêm painéis de lã de vidro, e para bandas de frequências a partir de 3150 Hz, essa diferença deixa de ser significativa.

No gráfico da Figura 6.8 é avaliado o incremento de desempenho proporcionado por uma tentativa de optimização, em provetes que integram os mesmos constituintes, isto é, placas de revestimento em Mdf e painéis de lã de vidro. O que diferencia o provete IS7 do provete IS9 é que neste último reforçou-se a quantidade de lã de vidro (acréscimo aproximado em 15%), cortada à medida, na zona inferior do módulo, considerada a zona de maior perda sonora, pelo ensaio de medição do nível sonoro, apresentado na secção 5.4.

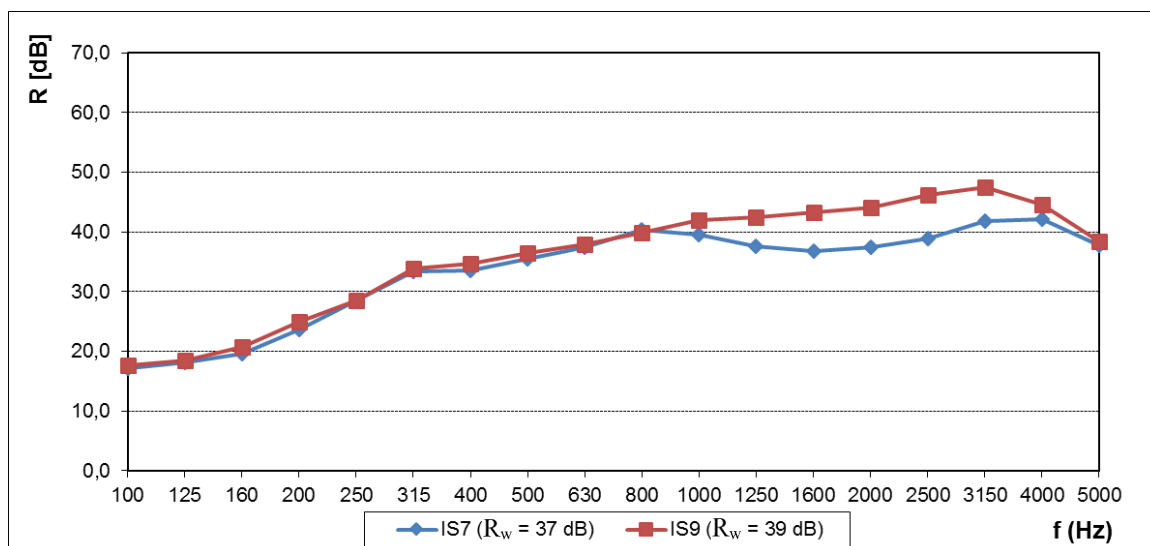


Figura 6.8 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS7 e IS9.

O objectivo foi atingido com um melhoramento considerável, particularmente na zona de interesse, ou seja, na gama de frequências médias e altas (mais concretamente para o intervalo das bandas de frequências de 1 kHz a 4 kHz).

No anexo 11, ilustra-se uma simulação do boletim de ensaio para o provete IS9, emitido pelo LNEC, de acordo com o novo *layout* de 2014.

O estudo subjacente à Figura 6.9 compara o provete IS6 ao provete IS7³², ambos revestidos com placas de Mdf e com a caixa-de-ar preenchida por painéis de lã de vidro. No entanto, depois da aplicação do silicone em ambos os lados do provete IS6, esperou-se aproximadamente 5 horas, com ventoinha ligada, antes de se proceder ao início do ensaio de isolamento sonoro. Para o caso do provete IS7 aguardou-se 17 horas.

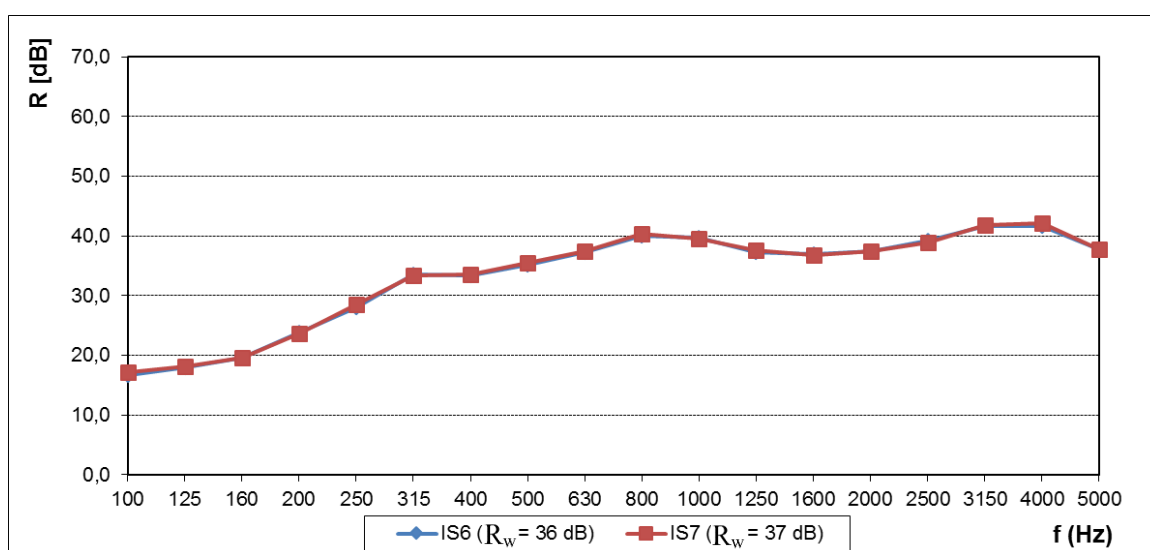


Figura 6.9 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS6 e IS7.

³² O índice de isolamento sonoro do provete IS6 está no limite de transição para 37 dB.

Os resultados foram coincidentes, pelo que se conclui que o tempo de secagem do silicone pode ser desprezável para o intervalo de tempo estudado. Em relação aos provetes restantes, e devido ao limite temporal destinado à realização de toda a campanha experimental, o período médio de secagem foi de 20 horas.

No próximo estudo procura-se compreender a influência da irregularidade do pavimento (especificamente no revestimento de piso final) no desempenho acústico do módulo.

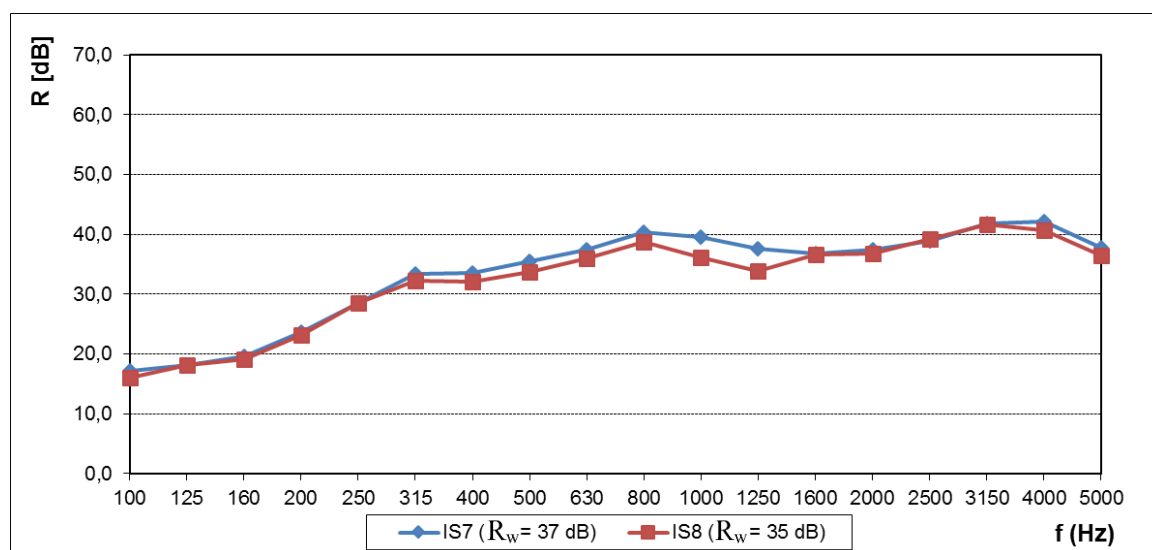


Figura 6.10 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro dos provetes IS7 e IS8.

Os provetes IS7 e IS8 são constituídos pelos mesmos elementos, isto é, placas de Mdf e painéis de lã de vidro; no entanto, enquanto no primeiro provete foi colocado um suporte da Isolmant Underslim com 5 mm de espessura (vd. Secção 4.6), o segundo provete assentou directamente na laje da abertura em betão.

Como se atenta na Figura 6.10, as principais discrepâncias entre os valores de isolamento sonoro ocorrem para o intervalo das bandas de frequências entre os 315 Hz e os 1,6 kHz. O ponto onde essa diferença é mais notória verifica-se para as bandas de frequências de 1250 Hz, correspondendo a 3,8 dB. A diferença entre os índices de isolamento sonoro a sons aéreos dos provetes IS7 e IS8 foi de apenas 2 dB.

Realizou-se apenas este ensaio, uma vez que não houve disponibilidade temporal para se preparar um pavimento em madeira, pedra ou outro material típico de revestimento de pavimentos de edifícios.

Na Figura 6.11 é feita uma análise comparativa do desempenho a sons aéreos entre o provete IS9 e a divisória Metrica comercializada pela empresa DIVILUX.

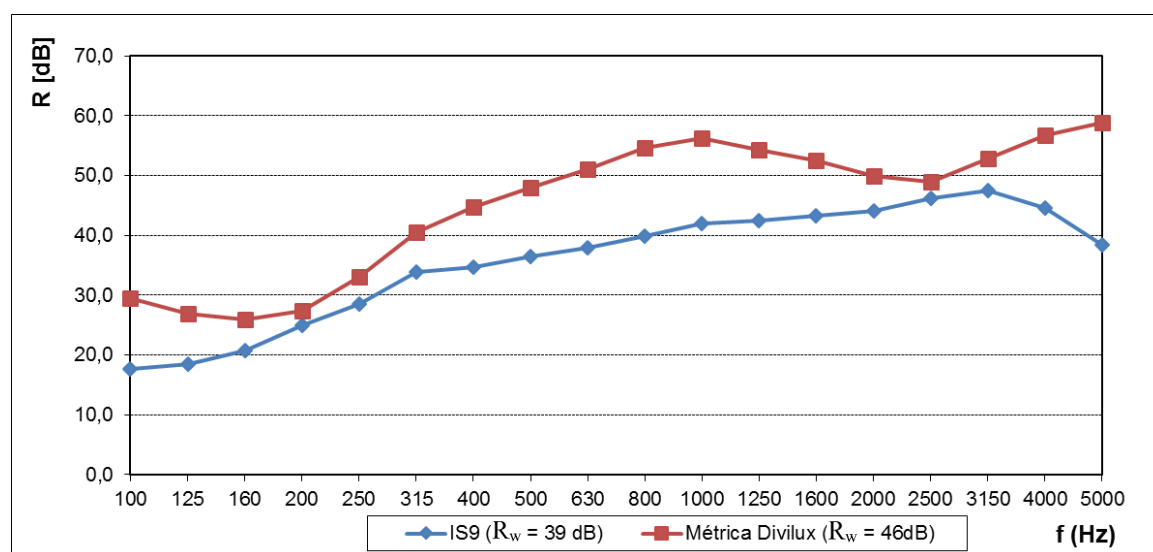


Figura 6.11 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro do provete IS9 e divisória Métrica (DIVILUX).

Na Figura 6.12 procedeu-se à comparação do desempenho a sons aéreos entre o provete IS9 e uma divisória manobrável comercializada pela empresa PCTS.

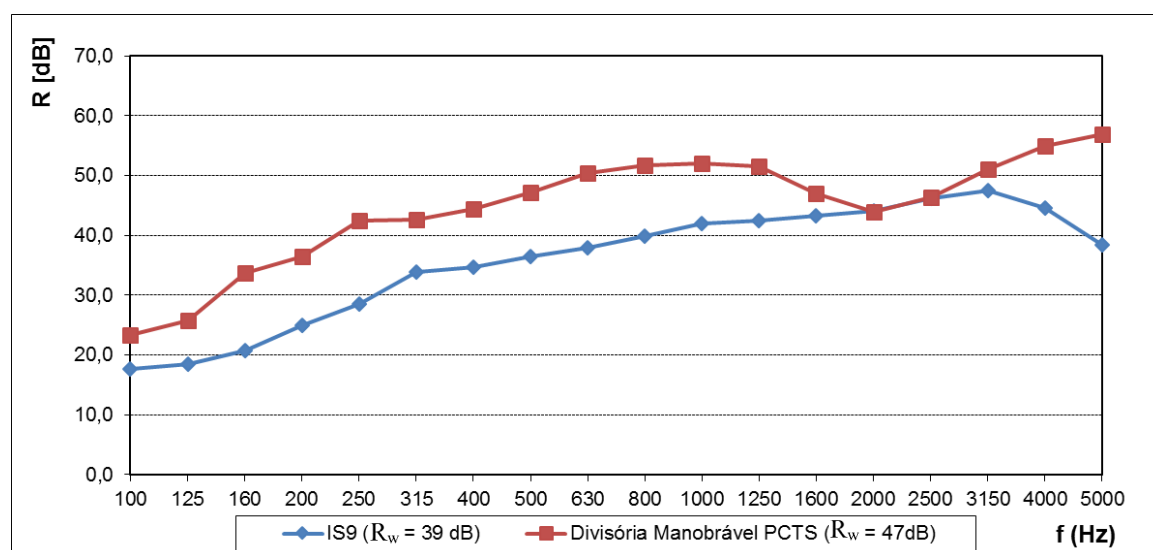


Figura 6.12 – Análise comparativa das curvas características de isolamento sonoro do provete IS9 e divisória manobrável tipo I (PCTS).

Poder-se-á afirmar que estes sistemas não são comparáveis, uma vez que são completamente diferentes, e estão em fases distintas de ultimização (“1º prototipo versus produtos finais”). No entanto, surgem com o objectivo de fornecer bons exemplos de desempenho, já que ambas as soluções assentam em trabalho de I&D efectuada ao longo de anos.

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES GERAIS

O trabalho exposto nos capítulos anteriores incidiu sobre a caracterização acústica de uma estrutura com cariz inovador para a compartimentação interior de edifícios. Os resultados dos ensaios, realizados no laboratório de acústica do LNEC, permitiram retirar conclusões que, se forem implementadas, melhorarão de forma apreciável o desempenho acústico do sistema de divisórias em desenvolvimento. Sendo o protótipo ensaiado, uma estrutura aligeirada é fulcral minimizar, tanto quanto possível, o seu peso global para que não fique comprometida a sua mobilidade, e proceder-se simultaneamente à escolha de materiais cuja eficiência acústica tenha sido comprovada por ensaios laboratoriais. O comportamento vibracional da estrutura é outro aspecto a ter em consideração, visto que influencia directamente o comportamento acústico e depende não só da rigidez da armação metálica mas também da forma como são preconizadas as ligações internas entre os constituintes. Existe contudo, a necessidade de clarificar que o propósito deste objecto de estudo não é o de modelar o campo sonoro de um espaço, mas sim o de desenvolver uma divisória simples e acessível a qualquer utilizador. No entanto, se a divisória não garantir certos valores mínimos de isolamento acústico, especialmente nas gamas de frequências média e alta, tornar-se-á muito difícil a realização de tarefas quotidianas. Daí que seja essencial potenciar o seu desempenho a este nível, ainda que a legislação em Portugal continue a ser omissa quanto às exigências de isolamento acústico entre os diversos compartimentos interiores. É nesta contextualização que o presente estudo surge, para que haja, se necessário, uma redefinição do módulo.

O primeiro ensaio realizado foi o de absorção sonora. Foram medidos os tempos de reverberação, em câmara reverberante, com e sem o provete AS1, de acordo com a norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007). Posteriormente, de acordo com a norma EN ISO 11654 (CEN,1997), determinou-se o valor do coeficiente de absorção sonora ponderado, $\alpha_w = 0.15$, e concluiu-se que o elemento em causa revela um comportamento pouco absorvente – Classe de absorção E.

O ensaio referido precedeu a nove ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos, dos quais seis ensaios com diferentes materiais aplicados no revestimento e/ou preenchimento do protótipo, um ensaio com o objectivo de determinar a influência do tempo de secagem, um ensaio de avaliação da influência da irregularidade do pavimento e finalmente uma tentativa de optimização da melhor tipologia (em termos de materiais e respectiva implementação) testada. Salienta-se que apesar do esforço realizado na manutenção de um procedimento semelhante entre ensaios de isolamento sonoro, existiram pequenas variações que poderão reflectir-se no resultado final. Um exemplo disso é a forma como foi aplicado o silicone já que a quantidade e o posicionamento interferem na selagem dos provetes, aquando da sua colocação abertura de ensaio. Outros factores poderão estar

relacionados com a colocação enviesada do módulo na abertura, com o desgaste da alcatifa de base e com o desgaste da cortiça nas faces laterais ocorrido ao longo dos ensaios.

Os ensaios de isolamento sonoro foram precedidos pela medição dos tempos de reverberação na câmara receptora em conformidade com a norma NP EN ISO 354 (IPQ, 2007). Posteriormente fez-se a medição da pressão sonora nas câmaras reverberantes de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN, 2010). O cálculo correspondente ao índice de redução sonora, R_w , foi realizado adoptando a metodologia enunciada pela norma NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013).

Assim, os benefícios da introdução de lã de vidro em detrimento das placas de cortiça ficaram comprovados pelas curvas características de isolamento sonoro das tipologias e pelos coeficientes de redução sonora, R_w , claramente mais favoráveis, quando comparados aos mesmos materiais, particularmente placas de contraplacado de choupo, Osb e Mdf ordenados respectivamente por ordem crescente de desempenho. Para o primeiro ensaio de isolamento sonoro a sons aéreos, com o provete IS1, composto por um revestimento em contraplacado de choupo e por placas de cortiça como material de preenchimento de caixa-de-ar, obteve-se um resultado de $R_w = 27$ dB.

A combinação de materiais disponíveis originou resultados crescentes que culminaram na optimização feita, no ensaio com o provete IS9, composto por um revestimento em placas de Mdf e painéis de lã de vidro como material de preenchimento de caixa-de-ar, revelando um resultado de $R_w = 39$ dB. A melhoria alcançada face ao resultado do provete IS7, realizado exactamente com os mesmos materiais, deve-se à concretização de um ensaio intermédio de medição do nível de pressão sonora, que permitiu concluir qual a zona em que existe maior perda sonora no protótipo e consequentemente onde se deveria intervir. Como expectável, corresponde precisamente à zona onde existe menos material de preenchimento, por presença de componentes mecânicos, isto é, a parte inferior do módulo.

Foi atingido o valor máximo de 39 dB, correspondente ao índice de isolamento sonoro a sons aéreos do provete IS9. No entanto, ocorreu sem que fosse maximizada a capacidade de preenchimento existente por parte do material de isolamento acústico. Poder-se-ia ter alocado aos perfis metálicos, que compõem a estrutura, algum deste material, ao invés de permanecerem ocos; contudo esse facto obrigaria a alterações estruturais, não exequíveis em tempo útil desta fase.

Apesar dos resultados demonstrarem uma grande melhoria, face ao ponto de partida, conjectura-se que sejam conservativos uma vez que se desabilitou o sistema que aufere extensibilidade vertical do módulo, devido a questões de viabilidade de ensaio. Por essa razão, não foi possível introduzir o elemento na abertura demolida para o efeito, entre câmaras reverberantes, como em condições reais, isto é, exercendo pressão na envolvente. Este facto poderá indiciar prejuízos relativamente aos ensaios efectuados de isolamento sonoro.

Dos restantes parâmetros analisados, concluiu-se que o tempo de secagem do silicone não tem influência no isolamento sonoro para o intervalo de tempo analisado, comprovado pelo cruzamento dos resultados dos ensaios IS6 e IS7.

Outra conclusão obtida foi retirada dos ensaios IS7 e IS8 que comprovam que a influência da irregularidade do pavimento face à transmissão de sons aéreos pode provocar uma variação de até 4 dB, em frequência na gama avaliada, apesar da mesma diferença para o índice R_w se reflectir apenas em 2 dB.

Devido à recente alteração na forma como é apresentado o resultado final de R_w nos boletins de ensaio nacionais, foram também calculados, para todos os ensaios de isolamento sonoro, os valores dos termos de adaptação espectral $C_{[100-3150]}$, e $C_{tr[100-3150]}$, de acordo com o anexo C da norma NP EN ISO 717-1 (IPQ, 2013).

Analisando globalmente o trabalho realizado, considera-se que os objectivos estipulados foram atingidos e que os resultados foram bastante favoráveis, considerando a melhoria de 12 dB em índice de redução sonora, entre o provete IS1 e o provete IS9. O conhecimento adquirido encurtará certamente o caminho a percorrer na redefinição da divisória em estudo, de forma a melhorar o efeito massa-mola-massa com o preenchimento de mantas ou painéis de fibras minerais com massas volúmicas superiores aquela que foi utilizada (como por exemplo 70 kg/m^3 em vez de 30 kg/m^3 ou outras alternativas investigadas com base em poliestireno expandido). Outros produtos que poderão ser incorporados são as lâminas de asfalto modificadas, que permitem uma grande atenuação do ruído em baixas frequências e placas de gesso laminado, muito utilizadas em divisórias actualmente. Esta temática é abordada de forma mais ampla no seguinte subcapítulo.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Conclui-se a presente dissertação apresentando algumas sugestões com vista à obtenção de melhores resultados por parte do objecto de estudo e referenciam-se ensaios que, por motivos de disponibilidade temporal, não foram realizados, sendo no entanto considerados igualmente relevantes e complementares ao estudo realizado.

Recomenda-se que nos ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos a serem realizados no futuro sejam utilizadas lãs minerais com maior massa volúmica daquela que foi ensaiada, com apenas 30 kg/m^3 . As placas de Aglomex Acoustic ou as placas de fibras de lã de rocha aglutinadas com resina termo-endurecida poderão ser alternativas a serem contempladas nestes ensaios como materiais de preenchimento da caixa-de-ar.

Em relação aos revestimentos do módulo sugere-se que as placas tenham diferentes espessuras e que se avalie o efeito da personalização das mesmas, como por exemplo, Osb *standard* versus Osb pintado.

Painéis Viroc, placas em aglomerado de madeira melamínico, placas de Valchromat, placas de gesso com acabamento em papel ou fibra de vidro, placas em Platex e placas em PVC leve constituem outras alternativas, que foram inicialmente ponderadas mas não implementadas nem ensaiadas e que poderão ser integradas em ensaios futuros.

O estudo iniciado sobre a influência da irregularidade do pavimento onde assenta o módulo carece de uma maior amostragem, isto é, recomenda-se que se analise a variabilidade do desempenho em ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos com suporte em pedra, madeira, tecidos (alcatifa), material cerâmico, entre outros.

Em ensaios de isolamento a sons aéreos a serem realizados futuramente, sugere-se que sejam executados preferencialmente utilizando diversos módulos dispostos lado a lado para que se contabilize as pontes fónicas que se possam estabelecer devido à junção destes, e não desabilitando o sistema mecânico, para que estes possam exercer pressão na envolvente como acontece *in situ*.

Propõe-se que se aplique o método de Intensimetria Sonora para uma medição mais exacta dos pontos por onde existem maiores perdas sonoras no protótipo.

Por último, recomenda-se que se apure, por intermédio de ensaios laboratoriais, a evolução da absorção sonora do módulo em função da taxa de furação de diversos revestimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, A. (1988). Estudo acústico de divisórias amovíveis. Análise modelar e desenvolvimento de soluções. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

CEN (1997). EN ISO 11654:1997. Acoustics. Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption. Brussels.

CEN. (2003). EN 61672-1:2003. Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificações. Bruxelas.

CEN. (2003). EN 61672-1:2003. Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensaio de avaliação de um modelo. Bruxelas.

CEN. (2003). EN 61672-1:2003. Electroacústica. Sonómetros. Parte 3: Ensaio periódico. Bruxelas.

CEN. (2006). EN 10130:2006. Cold rolled low carbon steel flat products for cold forming. Technical delivery conditions. Brussels.

CEN. (2010). EN ISO 10140-1:2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Parte 1: Application rules for specific products. Brussels.

CEN. (2010). EN ISO 10140-2:2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Parte 2: Measurement of airborne sound insulation. Brussels.

CEN. (2010). EN ISO 10140-4:2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Parte 4: Measurement procedures and requirements. Brussels.

CEN. (2010). EN ISO 10140-5:2010. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Parte 5: Requirements for test facilities and equipment. Brussels.

Consult. 21 de Maio. <http://www.enterpriseeuropenetwork.pt/info/mercado unico/Paginas/marcacaoce.aspx>.

Consult. 27 de Maio. [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves_\(1\).svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves_(1).svg).

Consult. 21 de Maio. http://www.corkcomposites.amorim.com/consumer_goods.php.

Decreto-Lei n.º 130/2013 de 10 de Setembro. Diário da República. 1.ª série. N.º 174. Lisboa: INCM.

Diário da República. Consult. 16 de Abril. <http://www.dre.pt/cgi/dr1s.exe?t=dr&cap=1-1200&doc=20081287&v02=&v01=2&v03=1900-01-01&v04=3000-12-21&v05=&v06=&v07=&v08=&v09=&v10=&v11=%27Decreto-Lei%27&v12=&v13=&v14=&v15=&sort=0&submit=Pesquisar>.

Divilux. Consult. 4 de Março. http://www.diviluxbusiness.com/proposta1/wp-content/uploads/2014/06/divilux_unica-metrica-cubica.pdf

Domingues, O. (2006). Acústica nos edifícios: Materiais e sistemas absorventes sonoros. Coeficientes de absorção sonora. 2ª Edição. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal.

EOTA (2013), ETAG 003:2013.European Technical Approval Guidelines.Internal Partition Kits, disponível em http://www.ue.itb.pl/files/ue/etags/etags_003.pdf.

Consult.21 de Maio. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/downloads/ce_brochure_pt.pdf

INCM, RGEU (1951).Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Decreto-Lei n.º 38382 de 7 de Agosto de 1951 com a última alteração pelo Decreto-Lei n.º 177/2001 de 4 de Junho.

Invernizzi-Spa.Consult. 15 de Abril, disponível em <http://www.invernizzi-spa.com>.

IPQ (2007). NP EN 10025-2.Produtos laminados a quente de aços de construção.Parte 2: Condições técnicas de fornecimento para aços de construção não ligados. Monte de Caparica.

IPQ. (1986). NP 3225-1.Acústica.Vocabulário. Parte 1:Definições gerais. Lisboa.

IPQ. (2007). NP EN ISO 354:2007.Acústica.Medição da absorção sonora em câmara reverberante. Lisboa.

IPQ. (2013). NP EN ISO 717-1:2013.Acústica.Classificação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção.Parte 1:Isolamento sonoro a sons de condução aérea. Lisboa.

Isocor.Consult. 15 de Abril, disponível em <http://www.isocor.pt>.

Isolmant - Polimuro.Consult. 15 de Abril, disponível em <http://www.isolmant.it/eng/scheda.asp?tit=Isolmant+Polimuro&cat=ic002&codice=ip009&lingua=eng>.

Isolmant - UnderSlim.Consult. 15 de Abril, disponível em <http://www.isolmant.it/ita/scheda.asp?tit=Isolmant+UnderSlim&cat=ic010&codice=ip002&lingua=ita>.

www.isolmant.it/eng/altre_download/Portuguese/Product%20catalogues/Cat%C3%A0logo_T%C3%A9cnico_3ed.pdf.

Knauf.Consult. 15 de Abril, disponível em <http://www.knaufinsulation.pt/content/painel-kraft-tp-216-painel-com-barreira-de-vapor-kraft>.

LNEC.Consult. 16 de Abril.www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao.

Martins, P. (1978). Acústica de Edifícios. Informação Técnica Edifícios n.º8. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.5ªEdição. Lisboa. Portugal.

Oliveira, C., Cabrita, A. (1985), Tipificação do Parque Habitacional.1º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação. Lisboa. Portugal.

Patrício, J. (2010). Acústica nos edifícios.6ªEdição. Lisboa. Portugal.

Pcts.Consult. 15 de Abril, disponível <http://www.pcts.pt/index.php>.

Regulamento (UE) N.º 305/2011.Parlamento Europeu e Conselho, disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:PT:PDF>.

http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/ApresentacaoNovoQuadroLegal.pdf

RGR: Regulamento Geral do Ruído. Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro. Diário da República. 1.ª série. N.º 12.

RRAE: Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio. Diário da República. I.ª série - N.º 110.9 de Junho de 2008.

Simões, G., Branco, T., Mergulhão, D., Ferraz, D., Lourenço, R., Cachadinha, N. (2013). Patente Nacional n.º 106016. Lisboa: INPI.

Sonaeindustria. Consult. 15 de Abril, disponível em <http://www.sonaeindustria.com>.

Tadeu, A., António, J., Mateus, D. (2003). Sound insulation provided by single and double panel walls. A comparison of analytical solutions versus experimental results. *Elsevier. Applied acoustics*. 65 (2004) 15-29.

ANEXOS

ANEXO I

ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA PROVETE AS1

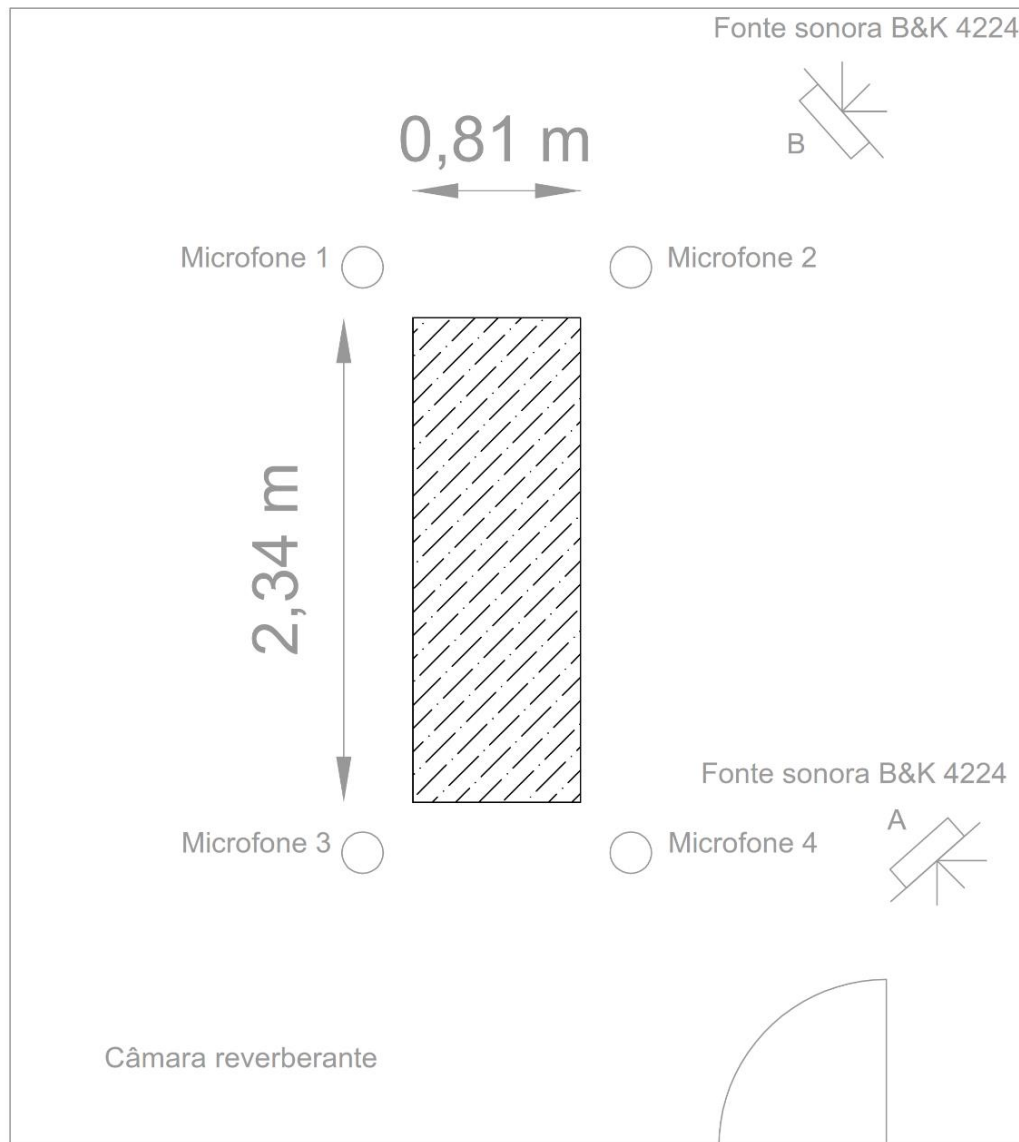


Figura I.I – Localização em planta dos pontos de medição na câmara emissora.

ANEXO II

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DA PAREDE QUE SEPARA AS CÂMARAS REVERBERANTES

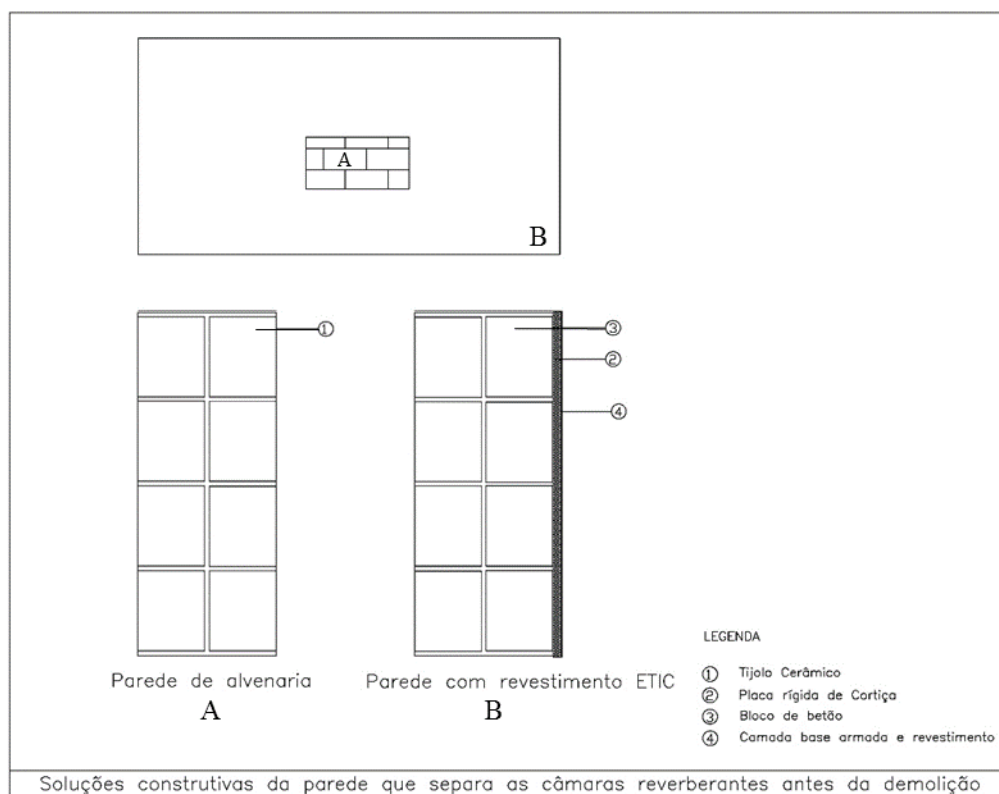


Figura II.I – Soluções construtivas existentes no LNEC antes da demolição.

ANEXO III

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS2

Quadro III.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS2.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,69	69,35	96,94	70,95	99,45	69,35	99,29	70,02	100,63	74,78
125	96,88	69,32	97,70	73,43	95,23	68,13	98,15	70,28	97,20	71,34
160	96,90	72,64	99,02	71,32	94,99	70,02	95,15	74,30	93,87	71,89
200	92,48	73,62	93,35	72,15	94,55	68,69	93,05	69,82	95,87	70,65
250	96,77	67,63	97,83	68,41	98,34	67,93	96,14	68,50	97,59	67,88
315	99,43	68,57	102,83	66,83	100,92	66,76	99,63	65,12	100,53	66,78
400	101,48	65,79	101,29	66,45	100,18	64,92	101,35	62,98	101,09	65,66
500	103,38	65,63	104,26	65,12	104,37	64,77	104,07	63,87	103,45	64,93
630	105,44	62,85	105,90	63,23	104,81	62,61	105,33	62,91	105,57	62,56
800	103,56	58,02	103,71	57,93	102,48	57,58	102,86	57,05	102,69	57,46
1000	100,67	54,63	100,89	54,07	100,71	53,72	100,24	53,26	100,82	55,03
1250	99,70	53,04	98,84	54,26	98,91	52,58	99,20	52,58	99,01	53,45
1600	101,25	56,66	100,70	56,96	100,73	56,81	101,22	56,16	100,96	57,26
2000	100,76	56,31	101,22	56,46	101,16	56,06	100,86	55,55	101,83	56,21
2500	100,93	53,75	101,08	53,12	100,75	52,49	100,63	52,61	101,25	53,25
3150	96,55	46,20	96,95	45,87	97,10	45,84	96,48	45,87	96,47	45,49
4000	91,32	40,24	91,31	40,53	90,98	40,07	90,59	40,01	90,97	39,99
5000	85,25	37,63	84,95	37,50	84,37	37,41	84,59	37,19	84,81	37,36

Quadro III.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS2.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,69	69,38	96,92	70,94	99,44	69,33	99,29	70,01	100,61	74,76
125	96,88	69,33	97,69	73,41	95,23	68,11	98,14	70,26	97,19	71,32
160	96,89	72,64	98,96	71,26	94,94	69,97	95,12	74,27	93,83	71,84
200	92,49	73,62	93,27	72,08	94,46	68,59	92,99	69,80	95,79	70,58
250	96,77	67,64	97,75	68,32	98,25	67,86	96,08	68,46	97,50	67,79
315	99,43	68,58	102,75	66,74	100,85	66,67	99,59	65,06	100,44	66,69
400	101,49	65,80	101,21	66,37	100,07	64,83	101,29	62,92	101,00	65,58
500	103,41	65,65	104,17	65,05	104,25	64,72	104,03	63,83	103,35	64,85
630	105,45	62,87	105,83	63,16	104,72	62,55	105,28	62,82	105,51	62,49
800	103,56	58,04	103,65	57,86	102,40	57,50	102,83	57,02	102,62	57,38
1000	100,68	54,64	100,81	54,01	100,62	53,64	100,19	53,24	100,76	54,96
1250	99,70	53,03	98,79	54,20	98,82	52,51	99,18	52,53	98,94	53,39
1600	101,26	56,67	100,66	56,91	100,66	56,72	101,17	56,18	100,89	57,22
2000	100,76	56,33	101,16	56,41	101,08	55,98	100,82	55,49	101,77	56,14
2500	100,95	53,77	101,05	53,09	100,74	52,45	100,60	52,55	101,19	53,19
3150	96,55	46,19	96,87	45,80	97,03	45,75	96,42	45,85	96,36	45,40
4000	91,32	40,24	91,25	40,47	90,89	40,01	90,53	39,93	90,89	39,94
5000	85,21	37,60	84,81	37,50	84,24	37,37	84,47	37,17	84,71	37,30

Quadro III.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS2.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,67	69,38	96,92	70,95	99,44	69,34	99,30	70,03	100,63	74,78
125	96,86	69,31	97,69	73,41	95,22	68,10	98,15	70,29	97,21	71,32
160	96,83	72,59	98,97	71,26	94,92	69,95	95,14	74,30	93,85	71,87
200	92,41	73,54	93,28	72,09	94,43	68,57	93,01	69,82	95,86	70,66
250	96,68	67,55	97,75	68,32	98,21	67,82	96,10	68,49	97,57	67,86
315	99,34	68,49	102,76	66,74	100,81	66,63	99,61	65,10	100,51	66,76
400	101,41	65,71	101,22	66,38	100,03	64,80	101,32	62,95	101,07	65,67
500	103,33	65,56	104,18	65,05	104,23	64,68	104,06	63,88	103,42	64,93
630	105,38	62,79	105,83	63,17	104,70	62,51	105,31	62,87	105,56	62,56
800	103,49	57,97	103,65	57,86	102,37	57,47	102,86	57,04	102,70	57,45
1000	100,60	54,54	100,81	54,02	100,59	53,61	100,20	53,22	100,81	55,02
1250	99,63	52,96	98,79	54,20	98,81	52,48	99,19	52,56	99,00	53,45
1600	101,20	56,62	100,66	56,91	100,64	56,69	101,19	56,22	100,94	57,26
2000	100,70	56,26	101,16	56,41	101,05	55,96	100,84	55,50	101,82	56,19
2500	100,92	53,73	101,06	53,12	100,74	52,44	100,61	52,55	101,23	53,26
3150	96,46	46,09	96,86	45,78	96,97	45,75	96,45	45,84	96,42	45,47
4000	91,24	40,14	91,25	40,44	90,83	40,00	90,58	40,01	90,95	39,97
5000	85,06	37,55	84,78	37,47	84,20	37,34	84,50	37,19	84,77	37,37

Quadro III.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS2.

f (Hz)	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,36	67,84	98,06	71,29	99,50	67,46	98,71	68,67	98,72	72,99
125	98,15	73,87	100,47	75,15	100,51	70,81	98,92	72,12	97,73	77,83
160	102,13	77,88	102,01	73,77	99,30	73,83	102,05	79,00	100,41	74,63
200	95,54	71,60	95,71	70,15	94,99	68,01	93,97	68,70	96,23	69,66
250	95,45	66,32	96,86	67,55	93,05	69,71	96,26	67,78	95,15	66,56
315	100,08	65,76	98,63	66,69	98,49	66,14	98,19	64,54	98,13	65,28
400	103,06	66,38	103,34	66,02	103,82	65,17	102,41	64,13	103,75	64,55
500	104,80	65,99	103,09	65,79	103,78	64,03	103,17	64,16	103,67	66,38
630	106,34	63,63	105,25	63,15	104,62	63,04	105,16	62,81	105,04	63,49
800	102,20	58,13	102,81	58,53	102,26	57,03	102,63	57,68	102,56	57,91
1000	101,19	54,86	101,03	53,62	100,78	52,86	100,60	52,80	100,73	54,23
1250	98,86	52,70	98,98	53,77	98,72	52,89	99,35	51,77	98,96	53,04
1600	101,11	56,80	101,20	57,44	100,82	56,59	100,73	56,15	100,75	56,30
2000	101,68	56,19	101,24	57,05	101,23	56,09	100,77	54,86	101,19	56,83
2500	100,85	53,58	100,52	53,23	100,19	53,02	100,92	52,99	101,02	53,19
3150	97,29	45,91	95,90	46,28	96,72	46,10	96,62	45,81	96,28	46,56
4000	91,11	40,14	90,67	40,14	90,68	39,43	90,73	39,71	90,64	40,20
5000	85,36	37,53	84,34	37,71	84,10	37,35	84,83	37,34	84,75	37,28

Quadro III.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS2.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,33	67,79	98,06	71,29	99,48	67,43	98,71	68,69	98,70	72,97
125	98,09	73,84	100,46	75,14	100,48	70,80	98,91	72,12	97,70	77,80
160	102,06	77,80	101,97	73,72	99,24	73,77	102,04	78,98	100,36	74,59
200	95,44	71,50	95,64	70,07	94,88	67,93	93,95	68,68	96,15	69,57
250	95,34	66,20	96,78	67,48	92,94	69,60	96,24	67,76	95,06	66,47
315	99,94	65,64	98,54	66,60	98,38	66,02	98,16	64,50	98,04	65,19
400	102,94	66,26	103,25	65,93	103,73	65,07	102,39	64,11	103,67	64,46
500	104,69	65,88	103,01	65,71	103,67	63,94	103,15	64,14	103,58	66,29
630	106,23	63,51	105,18	63,09	104,53	62,96	105,13	62,77	104,96	63,44
800	102,11	58,02	102,74	58,47	102,18	56,94	102,61	57,64	102,47	57,84
1000	101,09	54,75	100,96	53,54	100,70	52,76	100,56	52,76	100,66	54,15
1250	98,77	52,63	98,91	53,72	98,65	52,81	99,33	51,72	98,90	52,94
1600	101,00	56,70	101,15	57,39	100,74	56,54	100,74	56,13	100,68	56,23
2000	101,60	56,07	101,20	57,01	101,16	56,02	100,77	54,84	101,12	56,74
2500	100,79	53,55	100,47	53,18	100,13	52,96	100,91	52,99	100,95	53,12
3150	97,19	45,80	95,82	46,19	96,61	46,02	96,57	45,76	96,18	46,41
4000	91,02	40,10	90,58	40,13	90,60	39,32	90,68	39,66	90,55	40,15
5000	85,18	37,46	84,22	37,72	83,98	37,25	84,74	37,36	84,62	37,28

Quadro III.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS2.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,35	67,82	98,08	71,29	99,48	67,43	98,67	68,66	98,70	72,98
125	98,11	73,86	100,49	75,14	100,48	70,79	98,87	72,09	97,71	77,80
160	102,08	77,83	102,00	73,74	99,24	73,77	101,98	78,92	100,36	74,58
200	95,49	71,54	95,67	70,08	94,90	67,95	93,87	68,60	96,15	69,58
250	95,38	66,27	96,79	67,50	92,95	69,62	96,16	67,68	95,06	66,47
315	100,01	65,68	98,56	66,63	98,39	66,04	98,07	64,42	98,03	65,18
400	102,99	66,32	103,26	65,93	103,73	65,09	102,30	64,03	103,66	64,45
500	104,73	65,94	103,02	65,73	103,68	63,93	103,07	64,06	103,57	66,29
630	106,29	63,59	105,18	63,10	104,54	62,98	105,05	62,68	104,95	63,43
800	102,16	58,08	102,75	58,49	102,19	56,98	102,53	57,57	102,46	57,83
1000	101,14	54,80	100,98	53,56	100,71	52,75	100,48	52,68	100,66	54,16
1250	98,80	52,68	98,94	53,72	98,66	52,83	99,27	51,66	98,89	52,94
1600	101,05	56,73	101,17	57,40	100,74	56,55	100,68	56,07	100,66	56,21
2000	101,62	56,12	101,22	57,03	101,17	56,05	100,73	54,78	101,11	56,72
2500	100,80	53,58	100,48	53,21	100,13	53,01	100,86	52,92	100,95	53,12
3150	97,22	45,83	95,82	46,22	96,61	46,00	96,50	45,66	96,17	46,41
4000	91,04	40,10	90,62	40,14	90,62	39,42	90,61	39,57	90,53	40,16
5000	85,20	37,46	84,20	37,71	83,96	37,30	84,65	37,30	84,57	37,28

Quadro III.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	98,78	70,86	27,91	19,84
125	1,27	-9,03	98,35	73,16	25,19	16,16
160	0,94	-10,34	99,49	74,77	24,72	14,38
200	0,89	-10,56	94,70	70,60	24,10	13,54
250	0,82	-10,91	96,52	67,88	28,64	17,73
315	0,70	-11,62	99,88	66,34	33,54	21,92
400	0,67	-11,77	102,29	65,27	37,02	25,25
500	0,65	-11,93	103,79	65,10	38,68	26,75
630	0,68	-11,75	105,33	63,00	42,33	30,58
800	0,73	-11,42	102,76	57,71	45,05	33,63
1000	0,75	-11,32	100,73	53,93	46,80	35,48
1250	0,81	-10,97	99,03	53,02	46,01	35,04
1600	0,92	-10,44	100,92	56,70	44,21	33,78
2000	0,92	-10,44	101,17	56,16	45,01	34,57
2500	0,97	-10,20	100,80	53,12	47,68	37,49
3150	1,02	-9,98	96,60	45,95	50,65	40,67
4000	1,00	-10,06	90,86	40,02	50,84	40,78
5000	0,99	-10,11	84,66	37,41	47,25	37,14

Quadro III.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS2.

f	R' F	R' M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R _M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	19,84	10,29	20,3
125	30,72	16,16	14,56	16,3
160	37,61	14,38	23,23	14,4
200	37,22	13,54	23,68	13,5
250	39,08	17,73	21,35	17,7
315	42,95	21,92	21,02	21,9
400	44,33	25,25	19,08	25,2
500	46,14	26,75	19,39	26,8
630	46,61	30,58	16,03	30,6
800	49,17	33,63	15,54	33,6
1000	53,50	35,48	18,03	35,5
1250	54,20	35,04	19,16	35,0
1600	54,95	33,78	21,17	33,8
2000	57,93	34,57	23,36	34,6
2500	58,47	37,49	20,98	37,5
3150	61,60	40,67	20,92	40,7
4000	64,28	40,78	23,50	40,8
5000	60,19	37,14	23,05	37,1

Quadro III.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS2

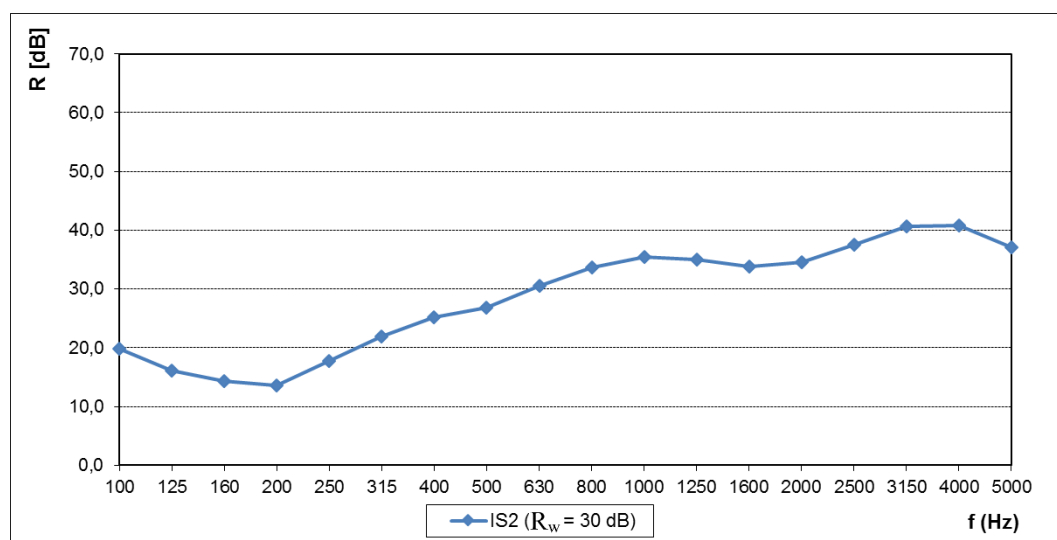
f	R	Curva de referência a	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	20,3	33	22	11	0,00
125	16,3	36	22	14	0,00
160	14,4	39	22	17	-2,62
200	13,5	42	22	20	-6,46
250	17,7	45	22	23	-5,27
315	21,9	48	22	26	-4,08
400	25,2	51	22	29	-3,75
500	26,8	52	22	30	-3,25
630	30,6	53	22	31	-0,42
800	33,6	54	22	32	0,00
1000	35,5	55	22	33	0,00
1250	35,0	56	22	34	0,00
1600	33,8	56	22	34	-0,22
2000	34,6	56	22	34	0,00
2500	37,5	56	22	34	0,00
3150	40,7	56	22	34	0,00
4000	40,8				
5000	37,1				
Σ					-26,067
Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB					-26,067
R_w					30

Quadro III.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i1}	R	$L_{i1}-R$	$10^{(L_{i1}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	20,3	-49,3	1,18E-05
125	-26	16,3	-42,3	5,87E-05
160	-23	14,4	-37,4	1,83E-04
200	-21	13,5	-34,5	3,51E-04
250	-19	17,7	-36,7	2,12E-04
315	-17	21,9	-38,9	1,28E-04
400	-15	25,2	-40,2	9,44E-05
500	-13	26,8	-39,8	1,06E-04
630	-12	30,6	-42,6	5,52E-05
800	-11	33,6	-44,6	3,44E-05
1000	-10	35,5	-45,5	2,83E-05
1250	-9	35,0	-44,0	3,95E-05
1600	-9	33,8	-42,8	5,27E-05
2000	-9	34,6	-43,6	4,40E-05
2500	-9	37,5	-46,5	2,25E-05
3150	-9	40,7	-49,7	1,08E-05
$\Sigma 1$				1,43E-03
-10 LOG ($\Sigma 1$)				28,44
$R_w = 52 - \text{valor de ajustamento}$				30
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-2

Quadro III.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{12}	R	$L_{12}-R$	$10^{(L_{12}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-20	19,8	-40,3	9,41E-05
125	-20	16,2	-36,3	2,34E-04
160	-18	14,4	-32,4	5,78E-04
200	-16	13,5	-29,5	1,11E-03
250	-15	17,7	-32,7	5,33E-04
315	-14	21,9	-35,9	2,56E-04
400	-13	25,2	-38,2	1,50E-04
500	-12	26,8	-38,8	1,33E-04
630	-11	30,6	-41,6	6,96E-05
800	-9	33,6	-42,6	5,46E-05
1000	-8	35,5	-43,5	4,49E-05
1250	-9	35,0	-44,0	3,95E-05
1600	-10	33,8	-43,8	4,19E-05
2000	-11	34,6	-45,6	2,77E-05
2500	-13	37,5	-50,5	8,94E-06
3150	-15	40,7	-55,7	2,71E-06
$\Sigma 2$				3,38E-03
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				24,71
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				30
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-5

Figura III.I – Resultado final de IS2 - $R_w = 30$ (-2;-5) dB

ANEXO IV

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS3

Quadro IV.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS3.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	95,95	70,86	97,95	70,79	100,27	68,91	100,43	71,36	100,99	74,55
125	97,83	70,88	99,58	72,73	96,32	68,94	97,60	70,29	97,50	71,51
160	98,01	73,14	99,60	71,01	97,33	69,34	96,99	74,37	94,73	72,54
200	92,23	73,44	93,90	69,77	97,22	69,09	91,54	68,14	97,49	68,66
250	97,33	63,70	97,43	65,44	99,52	64,28	98,50	65,34	99,12	65,92
315	100,37	64,53	102,69	64,08	101,32	64,53	99,13	62,15	101,93	63,57
400	103,03	63,84	102,71	63,10	102,00	62,90	103,01	60,28	103,48	62,63
500	104,01	64,69	105,29	63,37	105,09	62,47	103,82	61,96	104,30	63,78
630	106,13	61,37	105,77	61,94	105,29	61,04	106,13	61,95	106,32	61,42
800	102,88	56,80	104,27	56,34	102,99	56,76	103,44	55,91	104,04	56,93
1000	101,38	54,60	102,44	53,94	101,09	54,00	101,83	53,27	102,07	54,70
1250	100,26	54,15	99,60	54,28	100,51	53,22	100,05	53,88	100,32	54,12
1600	101,57	59,51	102,17	59,51	102,05	58,55	101,58	57,97	102,42	58,79
2000	102,35	58,05	103,00	58,64	102,20	57,50	102,29	57,27	101,60	57,71
2500	101,51	55,02	102,39	54,60	101,82	53,85	101,47	53,61	101,44	54,19
3150	97,80	47,56	97,99	47,47	97,44	46,55	97,65	46,84	97,38	47,66
4000	91,80	41,53	92,34	41,82	92,10	41,09	91,38	41,19	91,80	41,37
5000	85,96	38,57	86,33	38,22	85,52	37,91	85,70	37,79	85,67	37,97

Quadro IV.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS3.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	95,94	70,79	97,91	70,75	100,25	68,89	100,39	71,34	100,96	74,52
125	97,81	70,88	99,56	72,68	96,31	68,93	97,57	70,26	97,48	71,47
160	97,98	73,12	99,49	70,94	97,29	69,29	96,92	74,30	94,68	72,50
200	92,21	73,43	93,79	69,65	97,13	69,00	91,42	68,04	97,42	68,58
250	97,28	63,65	97,30	65,29	99,43	64,18	98,38	65,22	99,03	65,85
315	100,31	64,48	102,56	63,93	101,23	64,44	99,01	62,00	101,86	63,48
400	102,98	63,78	102,58	62,96	101,91	62,82	102,89	60,16	103,40	62,54
500	103,97	64,69	105,16	63,27	105,01	62,38	103,70	61,85	104,22	63,70
630	106,09	61,36	105,66	61,84	105,23	60,97	106,02	61,80	106,27	61,37
800	102,82	56,79	104,16	56,27	102,90	56,71	103,33	55,79	103,97	56,87
1000	101,33	54,56	102,33	53,84	101,01	53,94	101,72	53,16	102,00	54,65
1250	100,23	54,12	99,49	54,21	100,46	53,15	99,97	53,78	100,25	54,05
1600	101,56	59,49	102,08	59,43	101,98	58,49	101,48	57,91	102,35	58,70
2000	102,31	58,02	102,91	58,55	102,15	57,42	102,21	57,20	101,53	57,64
2500	101,49	54,98	102,34	54,53	101,79	53,87	101,41	53,53	101,39	54,16
3150	97,71	47,53	97,86	47,31	97,34	46,48	97,54	46,77	97,33	47,55
4000	91,73	41,51	92,21	41,74	92,01	41,07	91,27	41,11	91,74	41,29
5000	85,83	38,51	86,19	38,16	85,41	37,82	85,52	37,72	85,52	37,92

Quadro IV.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS3.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	95,92	70,73	97,91	70,76	100,23	68,88	100,39	71,34	100,95	74,51
125	97,79	70,88	99,54	72,71	96,28	68,88	97,56	70,26	97,47	71,47
160	97,92	73,07	99,51	70,92	97,28	69,25	96,91	74,29	94,67	72,48
200	92,11	73,34	93,78	69,65	97,13	69,01	91,42	68,05	97,40	68,59
250	97,18	63,56	97,30	65,29	99,42	64,18	98,38	65,22	99,02	65,83
315	100,22	64,37	102,55	63,94	101,20	64,44	99,01	62,02	101,82	63,46
400	102,89	63,68	102,56	62,96	101,91	62,82	102,89	60,17	103,38	62,54
500	103,88	64,56	105,16	63,22	105,01	62,38	103,71	61,86	104,19	63,68
630	106,01	61,27	105,65	61,84	105,23	60,97	106,03	61,83	106,24	61,35
800	102,75	56,71	104,16	56,25	102,91	56,71	103,33	55,82	103,96	56,87
1000	101,23	54,46	102,32	53,82	101,00	53,91	101,73	53,17	101,97	54,63
1250	100,16	54,05	99,49	54,19	100,45	53,16	99,98	53,78	100,20	54,04
1600	101,51	59,42	102,07	59,39	101,99	58,49	101,50	57,92	102,34	58,68
2000	102,26	57,97	102,91	58,54	102,15	57,43	102,22	57,22	101,50	57,61
2500	101,43	54,94	102,35	54,53	101,81	53,83	101,40	53,55	101,37	54,15
3150	97,63	47,46	97,84	47,30	97,32	46,46	97,55	46,73	97,28	47,53
4000	91,66	41,45	92,21	41,65	92,02	41,04	91,26	41,07	91,74	41,30
5000	85,68	38,40	86,16	38,10	85,39	37,83	85,51	37,69	85,46	37,92

Quadro IV.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS3.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,09	68,85	97,66	70,41	99,45	67,15	98,14	68,40	98,17	71,56
125	98,53	73,21	100,47	75,23	100,41	70,48	99,18	71,32	96,81	77,27
160	102,62	76,95	101,66	70,45	98,22	72,84	101,30	77,44	99,49	73,26
200	94,79	70,24	94,60	66,91	94,91	66,59	93,34	66,13	96,05	66,06
250	97,59	64,96	98,87	65,90	97,12	67,72	98,46	66,05	97,94	64,13
315	101,46	64,03	100,65	65,36	100,83	63,53	100,51	63,30	99,94	63,68
400	102,87	63,52	101,29	62,76	103,58	60,97	100,62	59,97	102,72	62,28
500	106,16	64,93	105,43	63,48	105,47	63,43	104,47	62,75	104,52	65,14
630	107,27	62,50	105,83	61,64	105,33	61,28	106,38	60,81	106,67	60,49
800	104,25	57,64	103,48	58,00	102,99	57,20	102,92	56,81	102,90	57,16
1000	102,54	54,71	101,11	54,51	101,40	52,96	101,05	53,23	100,75	54,34
1250	100,51	53,97	100,09	54,49	99,92	53,03	99,23	53,05	99,79	53,52
1600	101,56	58,79	102,04	59,74	101,95	58,87	101,91	58,32	102,20	59,68
2000	102,29	57,96	101,37	58,67	101,96	58,12	102,42	57,23	101,26	57,81
2500	102,05	54,18	100,60	54,63	101,45	54,46	101,37	54,07	101,46	54,05
3150	97,67	47,14	97,42	47,23	96,88	46,62	96,99	46,57	97,51	46,60
4000	91,65	41,23	91,42	41,35	91,50	40,57	91,46	40,36	91,75	40,96
5000	86,25	38,13	85,52	38,36	85,17	37,80	85,13	37,69	85,49	37,85

Quadro IV.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS3.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,07	68,86	97,63	70,39	99,40	67,11	98,12	68,38	98,18	71,57
125	98,50	73,20	100,42	75,18	100,37	70,42	99,15	71,30	96,81	77,27
160	102,59	76,93	101,59	70,39	98,13	72,75	101,24	77,38	99,48	73,27
200	94,77	70,23	94,49	66,80	94,78	66,47	93,25	66,06	96,05	66,05
250	97,56	64,94	98,76	65,78	96,99	67,59	98,35	65,95	97,94	64,13
315	101,43	64,01	100,53	65,23	100,70	63,40	100,40	63,18	99,93	63,69
400	102,85	63,50	101,17	62,63	103,45	60,84	100,52	59,85	102,71	62,27
500	106,15	64,93	105,30	63,35	105,35	63,27	104,37	62,65	104,50	65,14
630	107,24	62,50	105,73	61,54	105,20	61,17	106,28	60,69	106,66	60,49
800	104,22	57,63	103,39	57,91	102,86	57,09	102,85	56,68	102,89	57,13
1000	102,51	54,70	101,00	54,40	101,27	52,82	100,95	53,13	100,73	54,33
1250	100,49	53,97	100,00	54,39	99,80	52,92	99,14	52,96	99,77	53,52
1600	101,54	58,77	101,95	59,65	101,87	58,78	101,85	58,28	102,17	59,69
2000	102,28	57,95	101,30	58,58	101,88	58,00	102,36	57,17	101,25	57,79
2500	102,00	54,22	100,51	54,55	101,38	54,42	101,33	54,03	101,47	54,03
3150	97,62	47,12	97,31	47,11	96,76	46,44	96,90	46,45	97,46	46,62
4000	91,66	41,26	91,32	41,26	91,39	40,48	91,36	40,31	91,74	40,98
5000	86,19	38,15	85,35	38,28	85,00	37,74	85,00	37,62	85,44	37,87

Quadro IV.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS3.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,04	68,85	97,63	70,40	99,44	67,14	98,13	68,42	98,15	71,53
125	98,48	73,19	100,43	75,18	100,41	70,47	99,18	71,33	96,78	77,22
160	102,56	76,88	101,61	70,39	98,18	72,80	101,31	77,43	99,41	73,20
200	94,75	70,19	94,53	66,83	94,85	66,53	93,36	66,15	95,95	65,95
250	97,53	64,90	98,79	65,81	97,06	67,66	98,44	66,04	97,83	64,02
315	101,41	64,00	100,57	65,27	100,76	63,45	100,49	63,29	99,82	63,57
400	102,82	63,47	101,21	62,67	103,52	60,90	100,62	59,95	102,60	62,16
500	106,12	64,89	105,35	63,39	105,41	63,34	104,46	62,76	104,40	65,03
630	107,21	62,45	105,75	61,58	105,27	61,23	106,35	60,80	106,57	60,39
800	104,20	57,58	103,42	57,94	102,94	57,16	102,92	56,77	102,80	57,05
1000	102,49	54,65	101,03	54,45	101,34	52,90	101,03	53,23	100,63	54,24
1250	100,46	53,92	100,03	54,42	99,87	52,99	99,20	53,04	99,69	53,43
1600	101,52	58,74	101,97	59,66	101,92	58,81	101,91	58,32	102,09	59,61
2000	102,24	57,92	101,31	58,59	101,92	58,05	102,41	57,23	101,18	57,71
2500	102,00	54,17	100,54	54,60	101,44	54,48	101,38	54,06	101,42	53,97
3150	97,58	47,06	97,32	47,11	96,78	46,52	96,98	46,53	97,36	46,52
4000	91,61	41,19	91,34	41,25	91,43	40,52	91,45	40,35	91,65	40,84
5000	86,17	38,12	85,36	38,25	85,05	37,72	85,09	37,67	85,30	37,80

Quadro IV.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	99,02	70,74	28,28	20,21
125	1,27	-9,03	98,62	72,90	25,72	16,68
160	0,94	-10,34	99,54	73,83	25,71	15,37
200	0,89	-10,56	94,95	69,08	25,87	15,32
250	0,82	-10,91	98,20	65,43	32,77	21,86
315	0,70	-11,62	100,93	63,89	37,04	25,42
400	0,67	-11,77	102,56	62,34	40,22	28,45
500	0,65	-11,93	104,86	63,66	41,19	29,26
630	0,68	-11,75	106,10	61,43	44,67	32,91
800	0,73	-11,42	103,40	56,95	46,45	35,03
1000	0,75	-11,32	101,55	54,02	47,53	36,21
1250	0,81	-10,97	100,00	53,76	46,24	35,27
1600	0,92	-10,44	101,91	58,97	42,94	32,51
2000	0,92	-10,44	102,06	57,88	44,19	33,75
2500	0,97	-10,20	101,55	54,26	47,29	37,09
3150	1,02	-9,98	97,42	46,98	50,44	40,46
4000	1,00	-10,06	91,68	41,12	50,55	40,50
5000	0,99	-10,11	85,60	37,99	47,60	37,49

Quadro IV.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS3.

f	R' _F	R' _M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R _M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	20,21	9,92	20,7
125	30,72	16,68	14,04	16,9
160	37,61	15,37	22,24	15,4
200	37,22	15,32	21,91	15,3
250	39,08	21,86	17,22	21,9
315	42,95	25,42	17,53	25,4
400	44,33	28,45	15,88	28,4
500	46,14	29,26	16,88	29,3
630	46,61	32,91	13,70	33,1
800	49,17	35,03	14,13	35,2
1000	53,50	36,21	17,30	36,2
1250	54,20	35,27	18,93	35,3
1600	54,95	32,51	22,45	32,5
2000	57,93	33,75	24,19	33,7
2500	58,47	37,09	21,37	37,1
3150	61,60	40,46	21,14	40,5
4000	64,28	40,50	23,78	40,5
5000	60,19	37,49	22,70	37,5

Quadro IV.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS3.

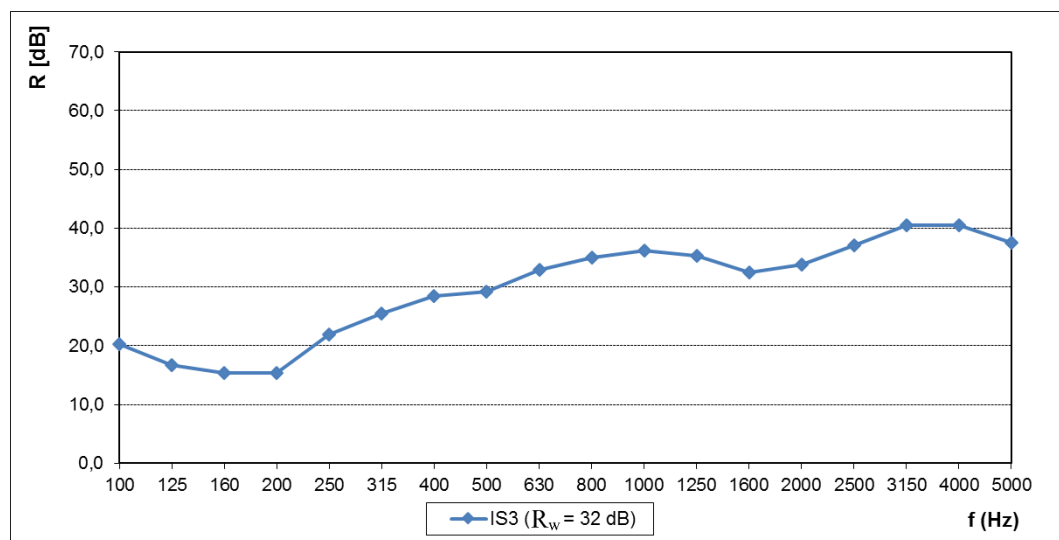
f	R	Curva de referência	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	20,7	33	20	13	0,00
125	16,9	36	20	16	0,00
160	15,4	39	20	19	-3,63
200	15,3	42	20	22	-6,68
250	21,9	45	20	25	-3,14
315	25,4	48	20	28	-2,58
400	28,4	51	20	31	-2,55
500	29,3	52	20	32	-2,74
630	33,1	53	20	33	0,00
800	35,2	54	20	34	0,00
1000	36,2	55	20	35	0,00
1250	35,3	56	20	36	-0,73
1600	32,5	56	20	36	-3,49
2000	33,7	56	20	36	-2,25
2500	37,1	56	20	36	0,00
3150	40,5	56	20	36	0,00
4000	40,5				
5000	37,5				
Σ					-27,802
Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB					-27,802
R_w					32

Quadro IV.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{11}	R	$L_{11}-R$	$10^{(L_{11}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	20,7	-49,7	1,08E-05
125	-26	16,9	-42,9	5,18E-05
160	-23	15,4	-38,4	1,46E-04
200	-21	15,3	-36,3	2,34E-04
250	-19	21,9	-40,9	8,20E-05
315	-17	25,4	-42,4	5,73E-05
400	-15	28,4	-43,4	4,52E-05
500	-13	29,3	-42,3	5,94E-05
630	-12	33,1	-45,1	3,09E-05
800	-11	35,2	-46,2	2,40E-05
1000	-10	36,2	-46,2	2,40E-05
1250	-9	35,3	-44,3	3,74E-05
1600	-9	32,5	-41,5	7,07E-05
2000	-9	33,7	-42,7	5,31E-05
2500	-9	37,1	-46,1	2,46E-05
3150	-9	40,5	-49,5	1,13E-05
$\Sigma 1$				9,62E-04
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 1)$				30,17
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				32
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-2

Quadro IV.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{12}	R	$L_{12}-R$	$10^{(L_{12}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-20	20,7	-40,7	8,56E-05
125	-20	16,9	-36,9	2,06E-04
160	-18	15,4	-33,4	4,60E-04
200	-16	15,3	-31,3	7,39E-04
250	-15	21,9	-36,9	2,06E-04
315	-14	25,4	-39,4	1,14E-04
400	-13	28,4	-41,4	7,16E-05
500	-12	29,3	-41,3	7,48E-05
630	-11	33,1	-44,1	3,89E-05
800	-9	35,2	-44,2	3,80E-05
1000	-8	36,2	-44,2	3,80E-05
1250	-9	35,3	-44,3	3,74E-05
1600	-10	32,5	-42,5	5,62E-05
2000	-11	33,7	-44,7	3,35E-05
2500	-13	37,1	-50,1	9,79E-06
3150	-15	40,5	-55,5	2,84E-06
$\Sigma 2$				2,21E-03
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				26,55
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				32
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-5

Figura IV.I – Resultado final de IS3 - $R_w = 32$ (-2;-5) dB

ANEXO V

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS4

Quadro V.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS4.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,91	75,95	98,90	75,94	98,89	75,92	98,18	76,52	98,15	76,49
125	98,52	77,29	98,49	77,27	98,47	77,25	100,77	75,52	100,73	75,50
160	101,71	74,44	101,68	74,40	101,64	74,36	101,63	72,39	101,55	72,32
200	96,49	69,34	96,43	69,31	96,37	69,25	96,65	72,40	96,54	72,31
250	94,83	62,23	94,77	62,17	94,70	62,11	96,34	61,69	96,22	61,60
315	99,06	59,60	99,01	59,56	98,93	59,49	99,65	59,95	99,53	59,82
400	102,73	60,79	102,67	60,74	102,60	60,68	104,10	60,64	103,98	60,51
500	104,29	60,05	104,22	59,98	104,16	59,92	103,28	59,74	103,16	59,64
630	105,75	59,28	105,71	59,24	105,65	59,20	105,57	58,59	105,47	58,49
800	102,67	53,50	102,64	53,46	102,58	53,41	102,65	53,67	102,55	53,58
1000	100,34	52,01	100,29	51,96	100,22	51,90	100,44	53,10	100,34	52,99
1250	99,50	53,83	99,46	53,80	99,41	53,75	99,18	55,21	99,09	55,10
1600	101,30	55,05	101,29	55,01	101,23	54,99	100,64	55,44	100,56	55,36
2000	101,37	55,92	101,32	55,89	101,28	55,86	101,32	55,94	101,26	55,86
2500	100,83	53,96	100,85	53,90	100,80	53,85	100,14	53,69	100,09	53,63
3150	97,42	47,76	97,35	47,67	97,31	47,63	97,25	48,42	97,19	48,34
4000	91,74	42,51	91,69	42,49	91,60	42,47	91,34	42,36	91,23	42,32
5000	85,76	38,17	85,65	38,16	85,52	38,14	84,72	38,40	84,56	38,28

Quadro V.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS4.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,15	76,50	99,18	75,30	99,15	75,27	99,15	75,28	98,21	72,83
125	100,73	75,53	100,68	74,78	100,65	74,76	100,65	74,76	99,30	74,42
160	101,55	72,32	99,26	71,82	99,19	71,76	99,18	71,76	101,58	76,52
200	96,54	72,30	94,95	67,89	94,86	67,79	94,84	67,79	93,67	68,18
250	96,22	61,61	93,19	65,85	93,09	65,76	93,07	65,73	93,95	64,32
315	99,53	59,83	96,78	57,28	96,67	57,17	96,65	57,15	95,87	57,32
400	103,97	60,52	102,28	59,80	102,18	59,71	102,15	59,69	102,46	58,85
500	103,16	59,63	102,72	59,37	102,63	59,28	102,60	59,25	103,29	59,38
630	105,47	58,50	104,21	57,68	104,11	57,60	104,10	57,57	105,27	56,85
800	102,54	53,58	101,71	52,60	101,64	52,51	101,61	52,49	103,04	53,48
1000	100,34	52,98	100,60	51,59	100,53	51,50	100,49	51,47	100,60	50,69
1250	99,08	55,10	98,72	52,62	98,61	52,53	98,60	52,53	98,39	51,22
1600	100,56	55,36	100,39	54,39	100,31	54,29	100,30	54,30	100,08	54,08
2000	101,27	55,89	100,82	55,53	100,77	55,46	100,74	55,48	100,98	54,87
2500	100,12	53,67	99,78	52,94	99,78	52,87	99,78	52,87	100,67	52,99
3150	97,15	48,32	96,19	47,78	96,09	47,68	96,05	47,63	96,16	47,68
4000	91,24	42,34	90,78	41,89	90,71	41,80	90,67	41,84	90,87	42,01
5000	84,53	38,29	84,54	37,87	84,45	37,83	84,37	37,79	84,37	38,04

Quadro V.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS4.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,18	72,81	98,17	72,81	98,19	79,69	98,15	79,66	98,16	79,66
125	99,26	74,40	99,26	74,41	97,97	81,73	97,93	81,70	97,94	81,70
160	101,52	76,45	101,53	76,45	98,74	76,32	98,67	76,26	98,67	76,26
200	93,58	68,10	93,60	68,11	96,44	69,31	96,34	69,22	96,34	69,22
250	93,85	64,24	93,88	64,24	95,86	61,66	95,75	61,55	95,75	61,56
315	95,75	57,21	95,76	57,24	98,44	59,06	98,33	58,95	98,31	58,95
400	102,35	58,74	102,37	58,76	102,00	60,73	101,89	60,62	101,88	60,62
500	103,17	59,28	103,19	59,30	102,84	59,97	102,73	59,86	102,72	59,86
630	105,17	56,74	105,19	56,76	105,33	58,60	105,23	58,51	105,23	58,51
800	102,95	53,40	102,96	53,40	102,92	54,44	102,83	54,33	102,81	54,33
1000	100,50	50,60	100,49	50,61	100,08	51,51	99,99	51,42	99,97	51,41
1250	98,31	51,15	98,31	51,17	98,59	52,96	98,49	52,87	98,48	52,86
1600	100,00	54,01	100,00	53,99	101,13	54,99	101,05	54,85	101,04	54,86
2000	100,94	54,87	100,92	54,86	101,09	55,46	101,04	55,37	101,03	55,38
2500	100,63	52,98	100,61	52,97	100,52	53,36	100,47	53,28	100,49	53,30
3150	96,01	47,63	96,02	47,63	96,47	48,44	96,37	48,35	96,34	48,37
4000	90,79	41,87	90,81	41,90	90,72	42,30	90,62	42,25	90,63	42,25
5000	84,25	37,96	84,22	37,94	84,55	37,93	84,42	37,82	84,41	37,79

Quadro V.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS4.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	96,82	78,20	96,79	78,16	96,79	78,16	98,14	80,17	98,09	80,16
125	100,11	75,08	100,08	75,05	100,08	75,05	99,63	83,19	99,59	83,17
160	99,30	75,80	99,24	75,75	99,23	75,76	100,48	73,92	100,41	73,89
200	92,02	67,86	91,93	67,77	91,91	67,76	91,52	65,79	91,42	65,69
250	95,36	62,00	95,26	61,91	95,23	61,90	94,30	61,66	94,18	61,54
315	99,73	61,91	99,62	61,81	99,60	61,78	101,11	59,80	100,97	59,70
400	102,44	61,19	102,34	61,08	102,32	61,06	101,54	59,86	101,41	59,73
500	103,59	60,51	103,50	60,41	103,48	60,38	104,73	59,06	104,62	58,93
630	105,21	58,28	105,13	58,21	105,12	58,19	105,11	58,87	105,04	58,75
800	102,31	54,06	102,23	53,99	102,22	53,98	103,03	54,12	102,92	54,01
1000	100,86	52,72	100,78	52,63	100,76	52,61	100,71	53,37	100,59	53,22
1250	98,89	53,68	98,81	53,61	98,79	53,60	98,27	54,40	98,19	54,32
1600	101,13	56,05	101,07	55,99	101,06	55,99	101,14	56,30	101,05	56,21
2000	101,65	56,31	101,58	56,26	101,58	56,26	101,60	56,16	101,53	56,06
2500	100,35	54,07	100,30	54,03	100,30	54,03	100,62	54,16	100,52	54,06
3150	96,83	47,48	96,73	47,38	96,71	47,36	97,49	47,46	97,37	47,33
4000	90,70	42,50	90,61	42,44	90,59	42,41	92,13	42,72	92,02	42,61
5000	84,63	38,23	84,46	38,21	84,40	38,15	84,82	38,63	84,66	38,50

Quadro V.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS4.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,10	80,16	100,69	75,06	100,66	75,03	100,66	75,03	100,45	76,83
125	99,59	83,17	98,30	75,31	98,28	75,31	98,28	75,31	98,89	76,93
160	100,41	73,89	98,48	71,38	98,42	71,35	98,42	71,35	98,00	73,96
200	91,41	65,69	92,37	64,89	92,25	64,81	92,24	64,80	89,63	64,87
250	94,17	61,54	95,80	62,31	95,70	62,19	95,68	62,16	96,41	61,20
315	100,97	59,69	100,01	60,60	99,93	60,51	99,91	60,51	97,68	59,25
400	101,41	59,73	101,21	59,12	101,12	59,02	101,09	59,02	101,36	59,30
500	104,61	58,94	103,27	59,24	103,15	59,15	103,12	59,13	103,96	58,36
630	105,03	58,76	103,79	57,62	103,72	57,53	103,69	57,53	103,87	56,26
800	102,92	54,01	102,15	53,89	102,05	53,79	102,05	53,77	102,24	52,95
1000	100,59	53,21	100,54	52,06	100,44	51,95	100,44	51,95	100,67	51,83
1250	98,19	54,32	98,18	51,89	98,10	51,80	98,10	51,81	98,77	52,48
1600	101,04	56,21	100,95	54,82	100,90	54,76	100,89	54,73	100,85	54,48
2000	101,50	56,05	101,36	55,22	101,26	55,15	101,26	55,16	100,61	54,90
2500	100,52	54,08	99,83	53,67	99,73	53,62	99,74	53,64	99,99	52,93
3150	97,35	47,27	96,58	47,45	96,47	47,33	96,45	47,35	96,56	47,34
4000	92,01	42,62	91,13	42,29	91,03	42,19	91,03	42,20	90,45	42,09
5000	84,62	38,58	84,23	38,01	84,13	38,02	84,09	38,00	84,08	37,99

Quadro V.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS4.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	100,42	76,80	100,43	76,79	100,53	82,14	100,50	82,11	100,47	82,09
125	98,86	76,91	98,88	76,88	98,09	78,91	98,08	78,91	98,05	78,88
160	97,94	73,88	97,94	73,88	95,43	74,64	95,40	74,60	95,36	74,58
200	89,52	64,77	89,53	64,78	95,20	64,97	95,12	64,90	95,08	64,87
250	96,29	61,10	96,29	61,10	95,63	62,58	95,56	62,49	95,51	62,45
315	97,57	59,13	97,57	59,14	100,00	60,30	99,93	60,22	99,89	60,16
400	101,25	59,18	101,25	59,18	103,37	60,14	103,29	60,06	103,25	60,01
500	103,85	58,27	103,86	58,27	102,92	59,48	102,85	59,39	102,80	59,35
630	103,76	56,17	103,76	56,17	105,14	58,81	105,08	58,78	105,04	58,73
800	102,15	52,86	102,17	52,85	102,94	54,24	102,88	54,20	102,84	54,16
1000	100,55	51,73	100,57	51,73	100,18	52,74	100,12	52,67	100,07	52,64
1250	98,70	52,38	98,70	52,38	99,05	53,81	99,02	53,71	98,98	53,70
1600	100,77	54,42	100,77	54,42	101,00	56,17	100,94	56,13	100,90	56,07
2000	100,52	54,80	100,52	54,85	101,05	55,57	100,99	55,53	100,96	55,47
2500	99,92	52,87	99,94	52,90	100,92	53,11	100,89	53,07	100,85	53,07
3150	96,48	47,26	96,47	47,23	96,79	47,91	96,70	47,81	96,65	47,76
4000	90,40	41,96	90,37	41,95	91,10	41,99	91,03	41,96	90,98	41,94
5000	83,94	37,90	83,92	37,91	85,06	37,96	84,97	37,92	84,91	37,92

Quadro V.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	99,08	78,07	21,01	12,94
125	1,27	-9,03	99,32	78,42	20,90	11,86
160	0,94	-10,34	99,79	74,41	25,38	15,04
200	0,89	-10,56	94,39	68,17	26,23	15,67
250	0,82	-10,91	95,21	62,73	32,48	21,57
315	0,70	-11,62	99,02	59,64	39,38	27,76
400	0,67	-11,77	102,36	60,03	42,33	30,56
500	0,65	-11,93	103,46	59,48	43,98	32,05
630	0,68	-11,75	104,92	58,12	46,80	35,04
800	0,73	-11,42	102,53	53,67	48,86	37,44
1000	0,75	-11,32	100,44	52,16	48,28	36,96
1250	0,81	-10,97	98,72	53,30	45,42	34,45
1600	0,92	-10,44	100,83	55,19	45,64	35,20
2000	0,92	-10,44	101,15	55,57	45,58	35,14
2500	0,97	-10,20	100,35	53,48	46,87	36,68
3150	1,02	-9,98	96,72	47,72	49,01	39,03
4000	1,00	-10,06	91,06	42,22	48,84	38,78
5000	0,99	-10,11	84,60	38,08	46,51	36,40

Quadro V.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS4.

f	R' F	R' M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	12,94	17,20	12,9
125	30,72	11,86	18,86	11,9
160	37,61	15,04	22,57	15,0
200	37,22	15,67	21,55	15,7
250	39,08	21,57	17,51	21,6
315	42,95	27,76	15,19	27,8
400	44,33	30,56	13,77	30,7
500	46,14	32,05	14,09	32,2
630	46,61	35,04	11,57	35,4
800	49,17	37,44	11,73	37,7
1000	53,50	36,96	16,54	37,0
1250	54,20	34,45	19,75	34,4
1600	54,95	35,20	19,75	35,2
2000	57,93	35,14	22,80	35,1
2500	58,47	36,68	21,79	36,7
3150	61,60	39,03	22,57	39,0
4000	64,28	38,78	25,50	38,8
5000	60,19	36,40	23,79	36,4

Quadro V.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS4.

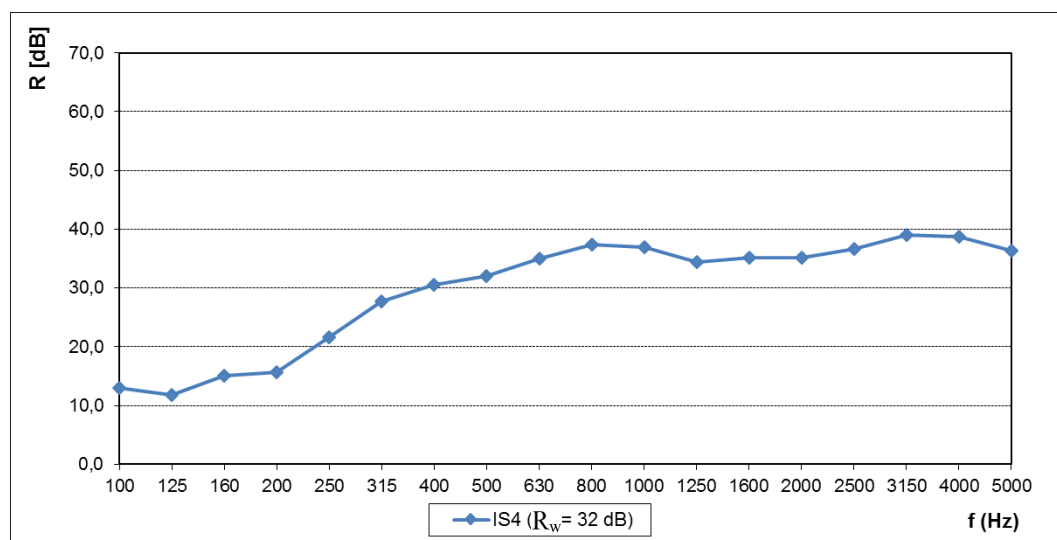
f	R	Curva de referência a	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	12,9	33	20	13	-0,06
125	11,9	36	20	16	-4,14
160	15,0	39	20	19	-3,96
200	15,7	42	20	22	-6,33
250	21,6	45	20	25	-3,43
315	27,8	48	20	28	-0,24
400	30,7	51	20	31	-0,25
500	32,2	52	20	32	0,00
630	35,4	53	20	33	0,00
800	37,7	54	20	34	0,00
1000	37,0	55	20	35	0,00
1250	34,4	56	20	36	-1,55
1600	35,2	56	20	36	-0,80
2000	35,1	56	20	36	-0,86
2500	36,7	56	20	36	0,00
3150	39,0	56	20	36	0,00
4000	38,8				
5000	36,4				
Σ					-21,635
Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB					-21,635
R_w					32

Quadro V.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i1}	R	$L_{i1}-R$	$10^{(L_{i1}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	12,9	-41,9	6,40E-05
125	-26	11,9	-37,9	1,64E-04
160	-23	15,0	-38,0	1,57E-04
200	-21	15,7	-36,7	2,15E-04
250	-19	21,6	-40,6	8,78E-05
315	-17	27,8	-44,8	3,34E-05
400	-15	30,7	-45,7	2,66E-05
500	-13	32,2	-45,2	3,01E-05
630	-12	35,4	-47,4	1,84E-05
800	-11	37,7	-48,7	1,34E-05
1000	-10	37,0	-47,0	2,01E-05
1250	-9	34,4	-43,4	4,52E-05
1600	-9	35,2	-44,2	3,80E-05
2000	-9	35,1	-44,1	3,86E-05
2500	-9	36,7	-45,7	2,71E-05
3150	-9	39,0	-48,0	1,57E-05
$\Sigma 1$				9,94E-04
-10 LOG ($\Sigma 1$)				30,02
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				32
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-2

Quadro V.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L _{i2}	R	L _{i2} -R	$10^{(L_{i2}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10 ⁻⁵)
100	-20	12,9	-32,9	5,09E-04
125	-20	11,9	-31,9	6,51E-04
160	-18	15,0	-33,0	4,96E-04
200	-16	15,7	-31,7	6,81E-04
250	-15	21,6	-36,6	2,20E-04
315	-14	27,8	-41,8	6,67E-05
400	-13	30,7	-43,7	4,22E-05
500	-12	32,2	-44,2	3,79E-05
630	-11	35,4	-46,4	2,31E-05
800	-9	37,7	-46,7	2,12E-05
1000	-8	37,0	-45,0	3,19E-05
1250	-9	34,4	-43,4	4,52E-05
1600	-10	35,2	-45,2	3,02E-05
2000	-11	35,1	-46,1	2,43E-05
2500	-13	36,7	-49,7	1,08E-05
3150	-15	39,0	-54,0	3,96E-06
$\Sigma 2$				2,90E-03
-10 LOG ($\Sigma 2$)				25,38
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				32
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-7

Figura V.I – Resultado final de IS4 - $R_w = 32$ (-2;-7) dB

ANEXO VI

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS5

Quadro VI.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS5.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,95	73,37	97,96	73,40	97,95	73,40	97,09	73,03	97,04	72,98
125	97,67	73,07	97,64	73,08	97,61	73,06	99,87	72,21	99,82	72,13
160	102,65	71,82	102,63	71,81	102,59	71,77	101,92	69,60	101,82	69,51
200	94,36	64,60	94,30	64,57	94,23	64,53	94,64	62,07	94,51	61,95
250	97,17	59,92	97,11	59,90	97,02	59,83	98,27	61,20	98,11	61,07
315	101,60	60,12	101,54	60,06	101,46	59,98	100,31	58,88	100,14	58,73
400	102,70	59,17	102,65	59,13	102,57	59,02	101,18	57,79	101,01	57,66
500	105,91	58,33	105,88	58,29	105,79	58,20	104,88	59,05	104,72	58,92
630	106,97	57,61	106,94	57,56	106,87	57,50	105,52	58,03	105,40	57,90
800	103,35	53,91	103,31	53,85	103,24	53,78	103,77	53,85	103,64	53,68
1000	102,28	51,32	102,26	51,27	102,18	51,20	101,03	51,43	100,89	51,29
1250	100,20	51,22	100,17	51,22	100,11	51,17	99,68	51,50	99,56	51,36
1600	102,12	53,68	102,08	53,62	102,03	53,59	102,00	53,74	101,90	53,61
2000	102,61	53,12	102,59	53,02	102,52	52,99	102,05	53,64	101,93	53,49
2500	101,76	51,33	101,74	51,26	101,69	51,25	100,53	51,49	100,44	51,37
3150	98,06	44,39	98,01	44,30	97,89	44,23	97,53	44,59	97,41	44,41
4000	91,72	38,78	91,73	38,74	91,63	38,76	91,75	39,11	91,58	39,11
5000	86,72	36,95	86,60	36,89	86,51	36,87	85,47	37,04	85,31	36,98

Quadro VI.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS5.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,05	72,99	99,10	71,38	99,08	71,36	99,07	71,37	97,63	71,23
125	99,84	72,12	100,12	69,59	100,09	69,57	100,08	69,56	98,53	70,41
160	101,84	69,52	98,31	69,85	98,24	69,80	98,22	69,80	101,87	74,34
200	94,53	62,00	94,78	61,46	94,67	61,37	94,65	61,35	93,08	62,71
250	98,14	61,11	96,86	64,26	96,75	64,15	96,72	64,12	98,25	62,35
315	100,18	58,75	100,74	56,19	100,64	56,09	100,60	56,05	100,11	57,50
400	101,05	57,70	103,51	57,00	103,39	56,90	103,37	56,87	100,95	56,44
500	104,77	58,94	105,74	58,20	105,62	58,09	105,60	58,06	103,39	57,54
630	105,41	57,92	105,27	56,97	105,20	56,89	105,15	56,86	105,03	56,27
800	103,67	53,71	103,21	53,51	103,10	53,43	103,08	53,39	102,74	52,45
1000	100,93	51,32	101,25	50,41	101,15	50,29	101,13	50,28	101,31	49,98
1250	99,60	51,41	100,14	49,60	100,03	49,54	100,01	49,50	99,75	50,12
1600	101,94	53,66	101,55	53,48	101,51	53,40	101,48	53,38	101,55	53,54
2000	101,95	53,51	102,10	53,31	102,04	53,23	102,02	53,20	102,02	52,50
2500	100,47	51,38	101,19	51,06	101,14	51,02	101,12	51,01	101,32	50,57
3150	97,43	44,49	96,87	44,21	96,75	44,17	96,71	44,09	97,86	44,34
4000	91,61	39,11	91,48	38,51	91,38	38,46	91,36	38,48	91,95	38,37
5000	85,33	37,00	85,28	36,96	85,14	36,89	85,07	36,93	85,28	36,70

Quadro VI.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS5.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,60	71,19	97,60	71,18	97,26	76,88	97,23	76,87	97,21	76,85
125	98,49	70,37	98,48	70,38	96,85	76,22	96,82	76,16	96,82	76,09
160	101,79	74,25	101,78	74,25	100,16	73,46	100,10	73,40	100,07	73,38
200	92,95	62,60	92,94	62,60	96,22	62,01	96,12	61,91	96,09	61,89
250	98,13	62,22	98,12	62,23	97,45	60,59	97,34	60,49	97,31	60,46
315	99,98	57,36	99,98	57,36	99,12	58,29	99,00	58,17	98,96	58,13
400	100,80	56,31	100,80	56,32	103,01	57,69	102,89	57,59	102,85	57,55
500	103,24	57,41	103,23	57,41	104,33	58,77	104,22	58,65	104,19	58,62
630	104,91	56,15	104,90	56,15	106,34	57,43	106,24	57,34	106,22	57,32
800	102,62	52,33	102,62	52,32	103,77	52,88	103,67	52,78	103,64	52,78
1000	101,21	49,89	101,19	49,88	101,09	51,10	100,97	50,98	100,94	50,93
1250	99,64	50,02	99,62	50,04	99,31	50,93	99,24	50,85	99,19	50,83
1600	101,43	53,46	101,45	53,46	101,96	54,05	101,88	53,99	101,83	53,96
2000	101,92	52,42	101,92	52,40	102,11	53,63	102,02	53,53	102,00	53,50
2500	101,25	50,55	101,28	50,55	101,41	50,51	101,33	50,45	101,33	50,43
3150	97,71	44,26	97,74	44,24	97,86	44,81	97,74	44,68	97,69	44,67
4000	91,84	38,32	91,81	38,31	91,11	38,46	91,04	38,41	91,01	38,38
5000	85,12	36,67	85,08	36,65	85,38	36,83	85,26	36,84	85,21	36,79

Quadro VI.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS5.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,16	78,81	98,12	78,76	98,09	78,73	99,18	79,43	99,14	79,37
125	102,12	74,69	102,07	74,65	102,03	74,62	100,68	80,50	100,67	80,46
160	100,44	75,24	100,36	75,18	100,33	75,16	102,53	73,25	102,42	73,17
200	92,08	62,34	91,98	62,24	91,93	62,20	92,39	61,64	92,28	61,54
250	93,07	56,89	92,97	56,76	92,90	56,73	93,73	57,38	93,59	57,25
315	99,87	58,83	99,74	58,71	99,68	58,66	101,54	57,16	101,41	57,04
400	103,97	60,49	103,84	60,37	103,79	60,31	102,72	58,72	102,58	58,60
500	104,87	58,95	104,75	58,85	104,70	58,79	105,86	57,88	105,74	57,73
630	106,74	57,66	106,63	57,56	106,58	57,50	106,47	57,29	106,37	57,16
800	103,22	53,03	103,12	52,94	103,07	52,90	103,80	53,59	103,68	53,50
1000	101,84	51,58	101,72	51,50	101,67	51,44	101,78	51,49	101,67	51,39
1250	99,45	51,82	99,35	51,74	99,31	51,66	99,39	52,86	99,31	52,75
1600	102,66	54,39	102,54	54,30	102,50	54,26	101,46	53,83	101,37	53,78
2000	101,74	53,78	101,65	53,68	101,61	53,62	101,70	53,35	101,62	53,23
2500	100,83	51,67	100,78	51,58	100,74	51,52	101,49	51,14	101,43	51,10
3150	97,27	45,02	97,18	44,93	97,10	44,88	97,54	44,80	97,37	44,75
4000	91,58	38,68	91,49	38,58	91,40	38,56	92,66	38,92	92,56	38,84
5000	85,78	36,99	85,59	36,90	85,51	36,91	85,20	37,05	85,09	37,00

Quadro VI.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS5.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	99,14	79,38	101,82	74,48	101,78	74,43	101,75	74,42	101,82	76,61
125	100,72	80,53	100,42	71,72	100,38	71,68	100,36	71,66	100,60	73,46
160	102,42	73,19	100,19	68,73	100,12	68,66	100,09	68,63	99,50	72,58
200	92,30	61,55	91,98	60,40	91,89	60,32	91,85	60,29	90,42	60,00
250	93,59	57,27	95,14	57,94	95,04	57,86	95,00	57,81	96,13	56,80
315	101,38	57,00	100,52	57,48	100,42	57,39	100,38	57,34	98,16	56,70
400	102,57	58,59	102,18	57,97	102,07	57,88	102,01	57,83	102,21	57,96
500	105,73	57,74	104,19	56,77	104,09	56,66	104,03	56,61	104,87	56,79
630	106,36	57,15	104,77	56,84	104,69	56,76	104,63	56,72	104,75	56,09
800	103,67	53,47	102,64	53,03	102,55	52,94	102,52	52,89	103,69	52,32
1000	101,65	51,38	101,62	50,96	101,53	50,89	101,48	50,84	101,54	50,05
1250	99,30	52,76	99,84	50,32	99,77	50,26	99,72	50,22	99,08	50,47
1600	101,37	53,77	101,58	53,16	101,52	53,13	101,48	53,08	101,92	52,52
2000	101,62	53,23	102,26	52,71	102,20	52,69	102,18	52,64	102,03	52,35
2500	101,44	51,10	101,39	50,72	101,34	50,69	101,32	50,66	101,20	50,43
3150	97,36	44,74	97,27	44,47	97,20	44,35	97,14	44,30	96,77	44,34
4000	92,53	38,89	91,48	38,52	91,41	38,41	91,35	38,42	91,38	38,35
5000	85,06	36,99	85,53	36,79	85,40	36,73	85,35	36,73	84,67	36,75

Quadro VI.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS5.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	101,78	76,58	101,76	76,57	101,15	82,39	101,08	82,32	101,08	82,32
125	100,56	73,44	100,55	73,43	100,15	75,61	100,09	75,53	100,07	75,53
160	99,44	72,50	99,42	72,48	97,71	73,43	97,62	73,34	97,61	73,33
200	90,31	59,89	90,30	59,89	95,85	60,83	95,70	60,71	95,70	60,70
250	96,01	56,68	95,99	56,68	94,97	57,93	94,82	57,79	94,81	57,76
315	98,04	56,56	98,02	56,55	100,25	58,28	100,09	58,11	100,07	58,10
400	102,08	57,85	102,06	57,83	104,41	59,53	104,25	59,39	104,24	59,37
500	104,72	56,67	104,71	56,64	103,99	58,35	103,86	58,17	103,84	58,18
630	104,62	55,99	104,61	55,97	105,98	56,82	105,84	56,69	105,82	56,68
800	103,59	52,24	103,58	52,22	104,02	53,08	103,88	52,98	103,87	53,00
1000	101,42	49,91	101,40	49,90	101,42	51,63	101,30	51,50	101,28	51,49
1250	98,98	50,35	98,96	50,33	99,37	51,63	99,27	51,50	99,27	51,48
1600	101,83	52,47	101,84	52,42	102,00	53,29	101,89	53,23	101,89	53,23
2000	101,94	52,30	101,93	52,27	102,23	53,02	102,13	52,93	102,11	52,90
2500	101,13	50,37	101,12	50,38	101,60	51,15	101,51	51,09	101,51	51,10
3150	96,65	44,25	96,64	44,23	97,32	44,16	97,20	44,03	97,18	44,03
4000	91,28	38,31	91,26	38,26	91,59	38,73	91,47	38,65	91,48	38,62
5000	84,51	36,72	84,48	36,68	85,28	36,77	85,12	36,70	85,09	36,68

Quadro VI.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	99,46	77,20	22,26	14,19
125	1,27	-9,03	99,91	74,94	24,97	15,94
160	0,94	-10,34	100,76	72,63	28,13	17,79
200	0,89	-10,56	93,85	61,93	31,92	21,37
250	0,82	-10,91	96,34	60,17	36,17	25,26
315	0,70	-11,62	100,24	58,00	42,24	30,62
400	0,67	-11,77	102,72	58,35	44,37	32,60
500	0,65	-11,93	104,79	58,04	46,75	34,81
630	0,68	-11,75	105,78	57,06	48,72	36,96
800	0,73	-11,42	103,37	53,12	50,24	38,83
1000	0,75	-11,32	101,45	50,96	50,50	39,17
1250	0,81	-10,97	99,57	51,08	48,49	37,52
1600	0,92	-10,44	101,83	53,54	48,29	37,85
2000	0,92	-10,44	102,03	53,10	48,93	38,49
2500	0,97	-10,20	101,24	50,98	50,26	40,06
3150	1,02	-9,98	97,37	44,45	52,92	42,94
4000	1,00	-10,06	91,62	38,61	53,01	42,95
5000	0,99	-10,11	85,38	36,85	48,53	38,42

Quadro VI.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS5.

f	R' _F	R' _M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R _M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	14,19	15,94	14,2
125	30,72	15,94	14,78	16,1
160	37,61	17,79	19,82	17,8
200	37,22	21,37	15,86	21,4
250	39,08	25,26	13,82	25,4
315	42,95	30,62	12,33	30,9
400	44,33	32,60	11,73	32,9
500	46,14	34,81	11,32	35,1
630	46,61	36,96	9,65	37,5
800	49,17	38,83	10,34	39,2
1000	53,50	39,17	14,33	39,3
1250	54,20	37,52	16,68	37,5
1600	54,95	37,85	17,10	37,9
2000	57,93	38,49	19,44	38,5
2500	58,47	40,06	18,41	40,1
3150	61,60	42,94	18,66	42,9
4000	64,28	42,95	21,33	43,0
5000	60,19	38,42	21,77	38,4

Quadro VI.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS5.

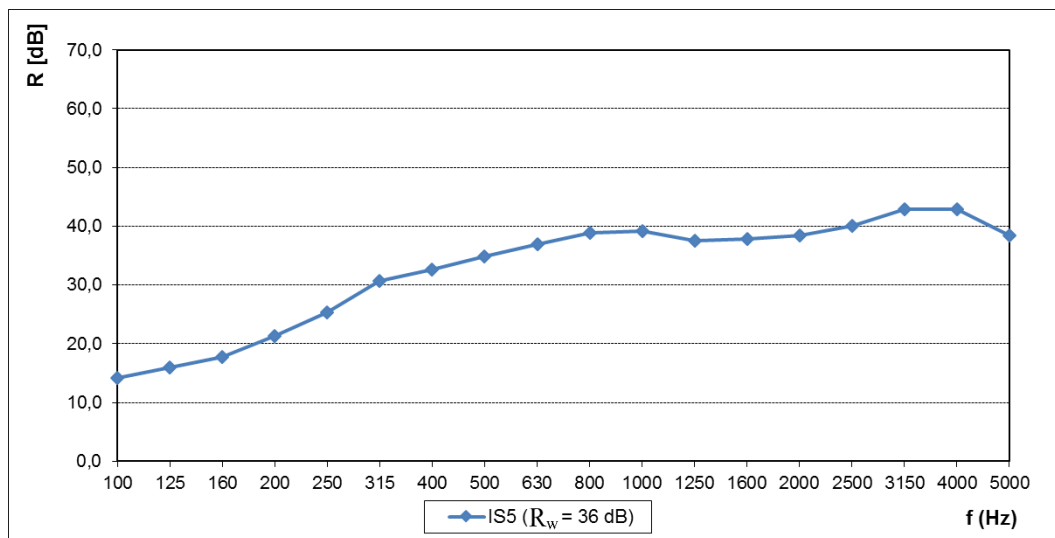
f	R	Curva de referência	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	14,2	33	16	17	-2,81
125	16,1	36	16	20	-3,92
160	17,8	39	16	23	-5,21
200	21,4	42	16	26	-4,63
250	25,4	45	16	29	-3,56
315	30,9	48	16	32	-1,12
400	32,9	51	16	35	-2,10
500	35,1	52	16	36	-0,85
630	37,5	53	16	37	0,00
800	39,2	54	16	38	0,00
1000	39,3	55	16	39	0,00
1250	37,5	56	16	40	-2,48
1600	37,9	56	16	40	-2,15
2000	38,5	56	16	40	-1,51
2500	40,1	56	16	40	0,00
3150	42,9	56	16	40	0,00
4000	43,0				
5000	38,4				
Σ					-30,333
Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB					-30,333
R_w					36

Quadro VI.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{11}	R	$L_{11}-R$	$10^{(L_{11}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	14,2	-43,2	4,80E-05
125	-26	16,1	-41,9	6,19E-05
160	-23	17,8	-40,8	8,34E-05
200	-21	21,4	-42,4	5,80E-05
250	-19	25,4	-44,3	3,60E-05
315	-17	30,9	-47,6	1,63E-05
400	-15	32,9	-47,6	1,62E-05
500	-13	35,1	-47,8	1,53E-05
630	-12	37,5	-49,0	1,13E-05
800	-11	39,2	-49,8	9,45E-06
1000	-10	39,3	-49,2	1,17E-05
1250	-9	37,5	-46,5	2,23E-05
1600	-9	37,9	-46,9	2,06E-05
2000	-9	38,5	-47,5	1,78E-05
2500	-9	40,1	-49,1	1,24E-05
3150	-9	42,9	-51,9	6,40E-06
$\Sigma 1$				4,47E-04
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 1)$				33,50
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				36
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-3

Quadro VI.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i2}	R	$L_{i2}-R$	$10^{(L_{i2}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-20	14,2	-34,2	3,81E-04
125	-20	16,1	-36,1	2,46E-04
160	-18	17,8	-35,8	2,64E-04
200	-16	21,4	-37,4	1,83E-04
250	-15	25,4	-40,4	9,03E-05
315	-14	30,9	-44,9	3,25E-05
400	-13	32,9	-45,9	2,57E-05
500	-12	35,1	-47,1	1,93E-05
630	-11	37,5	-48,5	1,43E-05
800	-9	39,2	-48,2	1,50E-05
1000	-8	39,3	-47,3	1,85E-05
1250	-9	37,5	-46,5	2,23E-05
1600	-10	37,9	-47,9	1,64E-05
2000	-11	38,5	-49,5	1,12E-05
2500	-13	40,1	-53,1	4,94E-06
3150	-15	42,9	-57,9	1,61E-06
$\Sigma 2$				1,35E-03
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				28,71
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				36
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-7

Figura VI.I – Resultado final de IS5 - $R_w = 36$ (-3;-7) dB

ANEXO VII

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS6

Quadro VII.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS6.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,48	69,69	97,50	69,76	97,48	69,75	97,22	71,98	97,22	71,98
125	97,45	71,91	97,41	71,93	97,39	71,90	99,23	72,70	99,23	72,70
160	103,26	72,50	103,20	72,40	103,15	72,38	102,92	68,38	102,92	68,38
200	97,57	62,07	97,55	62,09	97,50	62,03	97,47	63,49	97,47	63,49
250	94,81	55,96	94,79	56,02	94,72	55,95	96,51	58,01	96,51	58,01
315	98,76	54,59	98,79	54,60	98,72	54,53	97,81	54,07	97,81	54,07
400	103,83	59,84	103,83	59,80	103,76	59,73	103,19	56,99	103,19	56,99
500	105,49	57,60	105,49	57,56	105,43	57,49	103,79	56,92	103,79	56,92
630	105,63	57,52	105,62	57,54	105,57	57,49	105,12	58,31	105,12	58,31
800	102,20	51,49	102,22	51,51	102,17	51,45	102,96	52,66	102,96	52,66
1000	100,64	50,16	100,62	50,20	100,56	50,15	101,05	51,25	101,05	51,25
1250	98,92	50,89	98,94	50,88	98,89	50,83	98,78	50,65	98,78	50,65
1600	100,86	53,43	100,87	53,39	100,83	53,35	100,10	53,22	100,10	53,22
2000	101,09	53,80	101,09	53,79	101,04	53,75	101,39	53,52	101,39	53,52
2500	100,61	51,54	100,49	51,63	100,47	51,61	100,59	52,02	100,59	52,02
3150	97,64	45,44	97,52	45,46	97,44	45,38	96,64	45,00	96,64	45,00
4000	91,99	39,46	91,94	39,49	91,88	39,40	90,80	39,75	90,80	39,75
5000	85,82	37,22	85,82	37,16	85,71	37,10	84,57	37,42	84,57	37,42

Quadro VII.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS6.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,22	71,99	98,92	69,29	98,90	69,29	98,89	69,26	98,39	68,98
125	99,23	72,74	100,49	68,18	100,47	68,17	100,45	68,15	98,75	68,70
160	102,92	68,37	100,36	70,06	100,30	70,02	100,27	69,97	103,76	73,93
200	97,48	63,49	96,35	59,96	96,28	59,89	96,24	59,84	96,05	62,13
250	96,49	58,03	91,27	60,75	91,19	60,66	91,14	60,61	95,34	55,61
315	97,80	54,07	96,55	52,53	96,49	52,44	96,42	52,37	96,96	52,75
400	103,18	56,98	102,92	56,11	102,86	56,03	102,79	55,96	102,03	56,70
500	103,78	56,91	103,93	56,79	103,84	56,72	103,78	56,66	102,37	56,69
630	105,11	58,32	104,11	55,44	104,05	55,37	103,98	55,30	105,49	55,08
800	102,97	52,63	102,48	51,61	102,44	51,57	102,37	51,51	102,57	51,68
1000	101,04	51,24	100,42	50,38	100,36	50,32	100,31	50,27	100,66	48,94
1250	98,77	50,66	98,66	50,15	98,63	50,11	98,55	50,07	98,62	50,37
1600	100,09	53,21	100,29	52,21	100,23	52,15	100,17	52,09	100,58	51,98
2000	101,40	53,51	101,04	52,76	101,03	52,69	100,96	52,64	100,84	52,56
2500	100,59	52,03	100,44	50,11	100,40	50,11	100,38	50,06	100,34	50,88
3150	96,62	45,01	96,34	45,08	96,31	45,03	96,21	44,97	96,26	45,14
4000	90,80	39,72	90,57	39,26	90,56	39,20	90,47	39,13	90,96	38,92
5000	84,53	37,39	85,33	37,12	85,23	37,09	85,17	37,07	84,79	37,06

Quadro VII.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS6.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,38	68,98	98,35	68,95	97,25	74,87	97,26	74,88	97,25	74,86
125	98,75	68,70	98,71	68,67	97,61	74,51	97,62	74,52	97,61	74,49
160	103,75	73,92	103,69	73,86	101,46	74,08	101,47	74,10	101,43	74,06
200	96,03	62,12	95,95	62,04	98,01	62,89	98,02	62,90	97,96	62,85
250	95,33	55,60	95,24	55,50	94,26	57,00	94,27	57,03	94,20	56,96
315	96,93	52,73	96,83	52,63	96,86	53,40	96,87	53,40	96,80	53,33
400	102,01	56,66	101,91	56,57	102,91	58,59	102,92	58,60	102,85	58,52
500	102,34	56,67	102,24	56,58	104,11	57,62	104,11	57,62	104,04	57,56
630	105,47	55,07	105,40	54,99	104,58	56,34	104,59	56,35	104,53	56,29
800	102,53	51,67	102,46	51,59	102,16	52,02	102,15	52,04	102,11	51,98
1000	100,65	48,96	100,57	48,84	101,04	50,15	101,05	50,12	100,99	50,06
1250	98,61	50,36	98,53	50,28	98,14	51,14	98,16	51,14	98,09	51,10
1600	100,58	51,95	100,51	51,87	100,45	52,90	100,45	52,95	100,41	52,91
2000	100,82	52,55	100,74	52,49	100,61	53,17	100,62	53,21	100,59	53,15
2500	100,30	50,86	100,29	50,81	101,11	50,98	101,11	51,01	101,10	51,00
3150	96,25	45,12	96,15	45,05	96,93	45,32	96,96	45,36	96,88	45,26
4000	90,92	38,87	90,84	38,80	90,92	39,29	90,92	39,29	90,86	39,29
5000	84,76	37,00	84,63	36,98	85,29	37,17	85,32	37,11	85,21	37,14

Quadro VII.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS6.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	94,75	73,39	94,74	73,39	94,76	73,41	96,01	73,96	95,97	73,93
125	97,40	70,84	97,39	70,84	97,40	70,87	98,18	74,58	98,15	74,56
160	97,06	69,06	97,04	69,06	97,06	69,08	98,82	66,24	98,76	66,19
200	91,89	62,39	91,86	62,37	91,91	62,41	92,37	61,61	92,28	61,51
250	97,38	55,72	97,33	55,71	97,37	55,75	96,38	57,21	96,28	57,09
315	100,09	56,47	100,05	56,44	100,09	56,46	102,50	55,56	102,39	55,45
400	102,84	58,40	102,80	58,36	102,84	58,39	101,90	56,62	101,79	56,51
500	103,02	58,55	102,98	58,50	103,03	58,55	104,28	56,43	104,17	56,33
630	105,11	56,65	105,07	56,63	105,10	56,66	106,14	57,39	106,05	57,29
800	103,48	52,17	103,44	52,13	103,47	52,17	103,83	52,24	103,75	52,15
1000	101,07	50,33	101,03	50,27	101,07	50,30	101,63	50,62	101,54	50,54
1250	99,44	50,71	99,40	50,67	99,43	50,70	98,62	50,80	98,54	50,72
1600	101,63	54,09	101,60	54,03	101,63	54,07	100,49	54,46	100,42	54,38
2000	101,46	53,56	101,41	53,54	101,47	53,56	101,45	54,09	101,38	54,03
2500	100,89	51,85	100,88	51,78	100,89	51,79	100,66	51,80	100,60	51,76
3150	97,19	45,61	97,14	45,58	97,17	45,57	96,41	45,30	96,31	45,23
4000	91,00	39,76	90,94	39,74	90,97	39,75	91,80	40,10	91,71	40,05
5000	85,21	37,34	85,15	37,25	85,15	37,33	85,30	37,28	85,15	37,27

Quadro VII.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS6.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	96,02	73,96	98,74	70,30	98,69	70,26	98,73	70,29	97,90	72,50
125	98,19	74,59	95,36	66,38	95,32	66,33	95,36	66,36	97,43	67,32
160	98,80	66,25	96,28	63,54	96,24	63,47	96,26	63,53	95,61	68,14
200	92,39	61,60	95,07	60,04	94,98	59,97	95,03	60,01	92,34	59,20
250	96,37	57,20	97,97	57,16	97,87	57,06	97,92	57,11	96,65	57,17
315	102,50	55,53	100,74	55,73	100,62	55,65	100,69	55,71	99,78	54,60
400	101,89	56,61	100,93	57,98	100,84	57,92	100,87	57,95	101,53	55,50
500	104,27	56,43	104,03	56,68	103,92	56,59	103,99	56,66	103,68	56,05
630	106,14	57,38	104,37	56,07	104,28	55,98	104,33	56,06	104,47	56,18
800	103,82	52,23	102,33	51,33	102,25	51,25	102,29	51,29	102,83	51,39
1000	101,63	50,60	101,24	49,97	101,14	49,89	101,20	49,97	100,84	48,98
1250	98,61	50,79	99,54	49,84	99,48	49,75	99,53	49,79	98,93	50,45
1600	100,48	54,45	101,34	53,58	101,31	53,53	101,33	53,57	100,15	52,74
2000	101,45	54,08	101,27	53,12	101,20	53,06	101,26	53,09	101,35	52,65
2500	100,67	51,81	100,39	50,69	100,35	50,65	100,40	50,67	100,25	50,83
3150	96,37	45,30	96,86	44,95	96,75	44,85	96,78	44,85	96,54	44,56
4000	91,80	40,10	91,05	39,37	90,96	39,25	90,99	39,30	90,64	38,78
5000	85,23	37,25	85,01	37,12	84,91	37,09	84,93	37,06	84,39	37,04

Quadro VII.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS6.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,88	72,49	97,87	72,48	98,59	77,52	98,59	77,52	98,57	77,50
125	97,43	67,31	97,42	67,30	96,66	68,90	96,66	68,89	96,64	68,87
160	95,57	68,10	95,54	68,07	93,64	68,06	93,63	68,05	93,59	68,01
200	92,28	59,15	92,24	59,13	95,72	58,54	95,70	58,52	95,64	58,47
250	96,58	57,10	96,53	57,06	97,34	57,28	97,32	57,27	97,25	57,19
315	99,72	54,52	99,67	54,47	100,87	56,07	100,85	56,06	100,78	55,99
400	101,47	55,41	101,43	55,36	101,74	57,27	101,72	57,27	101,64	57,21
500	103,63	55,98	103,58	55,94	103,13	55,96	103,11	55,97	103,04	55,90
630	104,41	56,09	104,38	56,05	105,56	55,40	105,55	55,39	105,49	55,34
800	102,80	51,36	102,76	51,34	103,03	52,06	103,02	52,05	102,97	52,00
1000	100,80	48,93	100,75	48,87	100,82	49,61	100,81	49,59	100,75	49,50
1250	98,89	50,38	98,85	50,36	97,84	50,47	97,82	50,46	97,77	50,42
1600	100,12	52,72	100,09	52,71	101,20	54,20	101,17	54,21	101,14	54,17
2000	101,30	52,62	101,27	52,60	101,11	52,96	101,10	52,96	101,06	52,92
2500	100,23	50,81	100,19	50,78	100,67	50,84	100,68	50,86	100,64	50,83
3150	96,48	44,47	96,43	44,40	96,84	45,50	96,82	45,43	96,75	45,36
4000	90,57	38,73	90,53	38,69	91,19	39,47	91,16	39,43	91,09	39,44
5000	84,31	37,02	84,22	36,97	85,05	36,95	84,99	37,01	84,90	36,95

Quadro VII.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	97,68	73,09	24,59	16,52
125	1,27	-9,03	98,06	71,29	26,76	17,73
160	0,94	-10,34	100,48	70,49	29,99	19,65
200	0,89	-10,56	95,76	61,49	34,27	23,71
250	0,82	-10,91	96,10	57,41	38,68	27,77
315	0,70	-11,62	99,48	54,74	44,74	33,12
400	0,67	-11,77	102,43	57,54	44,89	33,12
500	0,65	-11,93	103,82	56,96	46,86	34,93
630	0,68	-11,75	105,07	56,53	48,54	36,79
800	0,73	-11,42	102,79	51,86	50,93	39,51
1000	0,75	-11,32	100,92	50,06	50,86	39,54
1250	0,81	-10,97	98,75	50,53	48,22	37,25
1600	0,92	-10,44	100,72	53,33	47,38	36,95
2000	0,92	-10,44	101,15	53,23	47,92	37,48
2500	0,97	-10,20	100,58	51,19	49,39	39,19
3150	1,02	-9,98	96,74	45,16	51,58	41,60
4000	1,00	-10,06	91,08	39,40	51,67	41,62
5000	0,99	-10,11	85,04	37,15	47,89	37,78

Quadro VII.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS6.

f	R' _F	R' _M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R _M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	16,52	13,61	16,71
125	30,72	17,73	12,99	17,95
160	37,61	19,65	17,96	19,72
200	37,22	23,71	13,51	23,91
250	39,08	27,77	11,31	28,11
315	42,95	33,12	9,82	33,60
400	44,33	33,12	11,22	33,46
500	46,14	34,93	11,21	35,27
630	46,61	36,79	9,82	37,27
800	49,17	39,51	9,65	40,01
1000	53,50	39,54	13,96	39,72
1250	54,20	37,25	16,95	37,34
1600	54,95	36,95	18,00	37,02
2000	57,93	37,48	20,45	37,52
2500	58,47	39,19	19,27	39,25
3150	61,60	41,60	20,00	41,64
4000	64,28	41,62	22,66	41,64
5000	60,19	37,78	22,41	37,80

Quadro VII.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS6.

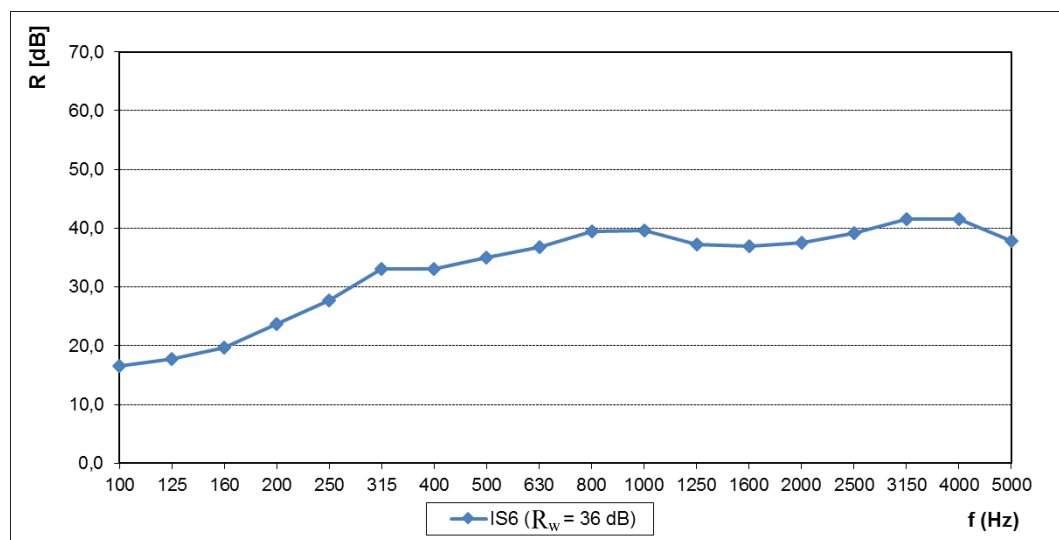
f	R	Curva de referência	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	16,7	33	16	17	-0,29
125	18,0	36	16	20	-2,05
160	19,7	39	16	23	-3,35
200	23,9	42	16	26	-2,09
250	28,1	45	16	29	-0,89
315	33,6	48	16	32	0,00
400	33,5	51	16	35	-1,54
500	35,3	52	16	36	-0,73
630	37,3	53	16	37	0,00
800	40,0	54	16	38	0,00
1000	39,7	55	16	39	0,00
1250	37,2	56	16	40	-2,75
1600	36,9	56	16	40	-3,05
2000	37,5	56	16	40	-2,52
2500	39,2	56	16	40	-0,81
3150	41,6	56	16	40	0,00
4000	41,6				
5000	37,8				
				Σ	-20,069
				Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB	-20,069
				R_w	36

Quadro VII.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{f1}	R	$L_{f1}-R$	$10^{(L_{f1}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	16,7	-45,7	2,69E-05
125	-26	18,0	-44,0	4,02E-05
160	-23	19,7	-42,7	5,43E-05
200	-21	23,9	-44,9	3,23E-05
250	-19	28,1	-47,1	1,95E-05
315	-17	33,6	-50,6	8,71E-06
400	-15	33,5	-48,5	1,43E-05
500	-13	35,3	-48,3	1,49E-05
630	-12	37,3	-49,3	1,18E-05
800	-11	40,0	-51,0	7,92E-06
1000	-10	39,7	-49,7	1,07E-05
1250	-9	37,2	-46,2	2,37E-05
1600	-9	36,9	-45,9	2,54E-05
2000	-9	37,5	-46,5	2,25E-05
2500	-9	39,2	-48,2	1,52E-05
3150	-9	41,6	-50,6	8,71E-06
$\Sigma 1$				3,37E-04
-10 LOG ($\Sigma 1$)				34,72
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				36
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-1

Quadro VII.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i2}	R	$L_{i2}-R$	$10^{(L_{i2}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-20	16,7	-36,7	2,13E-04
125	-20	18,0	-38,0	1,60E-04
160	-18	19,7	-37,7	1,72E-04
200	-16	23,9	-39,9	1,02E-04
250	-15	28,1	-43,1	4,89E-05
315	-14	33,6	-47,6	1,74E-05
400	-13	33,5	-46,5	2,26E-05
500	-12	35,3	-47,3	1,88E-05
630	-11	37,3	-48,3	1,49E-05
800	-9	40,0	-49,0	1,26E-05
1000	-8	39,7	-47,7	1,69E-05
1250	-9	37,2	-46,2	2,37E-05
1600	-10	36,9	-46,9	2,02E-05
2000	-11	37,5	-48,5	1,42E-05
2500	-13	39,2	-52,2	6,03E-06
3150	-15	41,6	-56,6	2,19E-06
$\Sigma 2$				8,66E-04
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				30,63
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				36
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-5

Figura VII.I – Resultado final de IS6 - $R_w = 36$ (-1;-5) dB

ANEXO VIII

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS7

Quadro VIII.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS7.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,11	68,63	97,11	68,66	97,07	68,63	96,13	70,97	96,09	70,93
125	96,89	71,33	96,88	71,34	96,82	71,28	98,39	71,88	98,34	71,82
160	102,42	71,09	102,40	71,08	102,33	71,01	101,69	66,83	101,61	66,74
200	93,63	60,94	93,62	60,91	93,51	60,81	94,45	60,12	94,33	60,03
250	96,43	58,24	96,42	58,26	96,30	58,14	97,60	58,45	97,45	58,32
315	101,17	57,03	101,17	57,02	101,04	56,89	100,31	56,26	100,17	56,12
400	102,31	59,93	102,31	59,93	102,18	59,80	100,89	56,49	100,74	56,34
500	105,74	57,40	105,74	57,41	105,62	57,28	104,63	58,90	104,50	58,74
630	106,74	57,59	106,75	57,58	106,64	57,48	104,75	57,89	104,64	57,76
800	103,68	52,78	103,68	52,81	103,58	52,71	102,83	52,17	102,71	52,03
1000	101,42	50,60	101,41	50,60	101,29	50,47	100,41	51,38	100,28	51,26
1250	99,91	51,24	99,91	51,23	99,81	51,14	99,89	51,04	99,80	50,93
1600	101,70	54,17	101,72	54,17	101,64	54,08	100,69	55,53	100,56	55,41
2000	101,25	53,93	101,24	53,94	101,16	53,84	101,79	54,48	101,68	54,38
2500	100,79	52,69	100,80	52,69	100,73	52,65	100,49	52,32	100,39	52,29
3150	98,43	45,29	98,42	45,28	98,30	45,18	96,91	46,09	96,79	45,95
4000	91,59	39,59	91,59	39,58	91,47	39,50	91,68	39,79	91,54	39,71
5000	85,94	37,37	85,89	37,41	85,71	37,27	85,06	37,56	84,86	37,53

Quadro VIII.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS7.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	96,10	70,94	98,37	67,19	98,34	67,17	98,34	67,17	97,22	67,73
125	98,34	71,84	99,25	66,92	99,21	66,88	99,21	66,88	97,76	66,88
160	101,61	66,73	98,23	68,94	98,15	68,87	98,14	68,87	101,81	72,07
200	94,33	60,04	95,18	59,70	95,09	59,60	95,07	59,59	92,81	60,16
250	97,46	58,34	96,18	60,83	96,08	60,71	96,06	60,71	96,78	57,88
315	100,16	56,11	100,64	54,61	100,51	54,48	100,50	54,46	99,71	54,80
400	100,73	56,34	103,05	55,70	102,92	55,58	102,91	55,57	100,55	56,56
500	104,49	58,75	105,08	57,39	104,95	57,27	104,93	57,24	102,87	56,50
630	104,64	57,77	105,27	55,20	105,16	55,09	105,16	55,08	104,62	56,58
800	102,71	52,02	102,68	51,99	102,57	51,91	102,55	51,88	101,82	51,92
1000	100,28	51,24	100,50	49,77	100,35	49,66	100,33	49,66	100,44	49,72
1250	99,79	50,94	99,42	49,40	99,31	49,32	99,29	49,31	98,40	49,94
1600	100,58	55,42	101,11	53,63	101,02	53,54	101,01	53,54	101,39	52,86
2000	101,67	54,40	101,64	53,51	101,56	53,38	101,55	53,37	101,17	53,06
2500	100,37	52,31	100,54	51,76	100,46	51,74	100,45	51,73	100,60	51,24
3150	96,76	45,96	96,45	44,97	96,34	44,87	96,33	44,83	96,36	44,66
4000	91,54	39,69	90,90	38,97	90,81	38,97	90,82	38,87	91,37	39,11
5000	84,82	37,48	85,00	37,17	84,80	37,10	84,77	37,11	85,07	37,13

Quadro VIII.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS7.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,18	67,69	97,19	67,70	96,54	73,33	96,54	73,33	96,52	73,30
125	97,72	66,85	97,72	66,85	96,11	73,32	96,10	73,31	96,08	73,26
160	101,73	71,99	101,74	71,99	100,22	72,22	100,21	72,22	100,16	72,17
200	92,71	60,04	92,71	60,05	96,20	60,19	96,19	60,18	96,11	60,12
250	96,65	57,76	96,66	57,78	96,34	57,56	96,33	57,57	96,24	57,48
315	99,57	54,68	99,58	54,67	98,47	55,53	98,45	55,54	98,36	55,42
400	100,42	56,43	100,43	56,43	102,29	56,74	102,29	56,73	102,21	56,64
500	102,76	56,37	102,74	56,42	103,65	57,21	103,64	57,20	103,56	57,10
630	104,51	56,48	104,51	56,49	106,03	56,63	106,02	56,63	105,93	56,55
800	101,71	51,81	101,70	51,81	103,44	51,91	103,43	51,93	103,36	51,85
1000	100,33	49,59	100,33	49,59	101,06	50,33	101,04	50,30	100,97	50,23
1250	98,29	49,86	98,29	49,86	98,42	50,48	98,42	50,49	98,35	50,42
1600	101,31	52,76	101,31	52,78	101,35	54,37	101,35	54,37	101,28	54,31
2000	101,09	52,98	101,10	52,98	101,37	53,64	101,35	53,65	101,29	53,58
2500	100,51	51,19	100,52	51,21	100,79	52,22	100,78	52,18	100,73	52,16
3150	96,24	44,53	96,23	44,53	96,78	45,90	96,76	45,89	96,66	45,79
4000	91,26	39,06	91,24	39,04	91,78	39,22	91,75	39,16	91,66	39,13
5000	84,91	37,04	84,87	37,05	85,23	37,21	85,20	37,12	85,07	37,12

Quadro VIII.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS7.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,22	74,37	97,20	74,34	97,17	74,33	97,93	75,25	97,88	75,22
125	100,05	72,80	100,02	72,79	100,02	72,76	100,30	76,20	100,26	76,19
160	99,38	71,32	99,33	71,29	99,29	71,25	100,34	68,64	100,27	68,56
200	92,98	63,39	92,91	63,32	92,85	63,25	93,65	61,40	93,53	61,27
250	98,10	56,06	98,02	55,98	97,95	55,90	96,09	56,60	95,96	56,47
315	100,60	56,36	100,51	56,29	100,43	56,21	101,97	55,97	101,84	55,84
400	103,75	59,27	103,67	59,18	103,60	59,12	102,59	57,70	102,46	57,57
500	104,59	59,34	104,52	59,26	104,45	59,21	105,24	57,52	105,11	57,40
630	105,67	57,38	105,60	57,31	105,54	57,26	106,06	58,32	105,95	58,22
800	104,17	52,52	104,08	52,43	104,03	52,38	104,19	52,44	104,09	52,33
1000	101,56	50,88	101,48	50,79	101,42	50,72	101,67	50,61	101,56	50,53
1250	99,91	51,56	99,82	51,49	99,77	51,44	100,41	51,44	100,30	51,35
1600	102,03	55,69	101,96	55,65	101,92	55,58	102,47	54,27	102,38	54,18
2000	102,49	54,72	102,41	54,66	102,36	54,62	101,67	54,77	101,56	54,67
2500	101,73	53,04	101,69	52,96	101,67	52,94	102,24	52,46	102,17	52,41
3150	97,68	46,23	97,61	46,20	97,53	46,11	97,44	45,15	97,32	45,07
4000	92,40	40,02	92,35	39,95	92,30	39,88	92,02	39,98	91,92	39,89
5000	85,55	37,55	85,39	37,47	85,26	37,45	85,55	37,45	85,39	37,40

Quadro VIII.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS7.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,88	75,22	100,46	71,38	100,42	71,35	100,42	71,36	100,22	73,38
125	100,27	76,19	98,18	67,53	98,15	67,50	98,15	67,51	99,38	69,43
160	100,28	68,57	98,79	65,32	98,73	65,28	98,72	65,26	98,64	69,45
200	93,54	61,27	96,17	60,79	96,08	60,71	96,04	60,67	92,38	59,38
250	95,97	56,46	98,30	57,34	98,21	57,26	98,17	57,21	97,90	57,04
315	101,84	55,84	100,84	55,43	100,74	55,33	100,71	55,29	97,97	54,70
400	102,45	57,56	101,77	56,86	101,67	56,75	101,64	56,73	102,28	55,79
500	105,11	57,39	104,79	56,46	104,68	56,35	104,65	56,32	104,42	56,57
630	105,95	58,22	105,30	57,09	105,21	57,00	105,18	56,99	106,70	56,15
800	104,08	52,35	103,67	51,66	103,58	51,57	103,56	51,55	103,32	51,77
1000	101,56	50,51	101,11	50,00	101,00	49,89	100,99	49,84	101,50	49,55
1250	100,30	51,34	99,51	50,70	99,41	50,63	99,39	50,62	99,14	50,57
1600	102,36	54,18	101,57	53,97	101,50	53,89	101,49	53,86	101,92	53,78
2000	101,55	54,67	102,23	53,87	102,15	53,79	102,13	53,77	102,43	53,02
2500	102,17	52,42	101,25	51,82	101,20	51,79	101,20	51,78	101,66	51,11
3150	97,32	45,08	97,66	45,49	97,57	45,40	97,51	45,39	97,09	44,82
4000	91,91	39,90	92,20	39,49	92,12	39,39	92,10	39,36	91,10	39,49
5000	85,38	37,38	85,04	37,31	84,89	37,24	84,84	37,20	84,95	37,17

Quadro VIII.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS7.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	100,18	73,34	100,17	73,33	100,26	78,14	100,24	78,13	100,22	78,12
125	99,34	69,39	99,33	69,37	98,30	71,17	98,28	71,15	98,28	71,13
160	98,56	69,36	98,56	69,35	96,08	70,32	96,03	70,27	96,00	70,25
200	92,28	59,28	92,27	59,26	97,30	58,93	97,21	58,85	97,17	58,82
250	97,79	56,93	97,77	56,93	97,80	58,80	97,71	58,71	97,68	58,67
315	97,85	54,59	97,84	54,57	100,44	56,41	100,35	56,31	100,31	56,28
400	102,17	55,66	102,16	55,65	103,73	57,83	103,65	57,75	103,61	57,71
500	104,30	56,45	104,29	56,42	103,95	56,93	103,85	56,82	103,80	56,78
630	106,60	56,06	106,59	56,06	105,98	56,46	105,91	56,39	105,87	56,37
800	103,23	51,69	103,22	51,67	103,71	52,19	103,64	52,12	103,61	52,10
1000	101,40	49,46	101,38	49,44	101,32	50,82	101,24	50,75	101,21	50,72
1250	99,06	50,48	99,04	50,45	99,00	51,22	98,94	51,14	98,91	51,10
1600	101,83	53,71	101,81	53,67	102,05	54,43	101,99	54,36	101,96	54,31
2000	102,35	52,94	102,37	52,93	101,82	53,84	101,74	53,77	101,71	53,76
2500	101,61	51,05	101,59	51,03	101,48	52,30	101,43	52,28	101,40	52,27
3150	96,97	44,73	96,97	44,69	97,30	45,72	97,19	45,64	97,13	45,63
4000	91,01	39,41	90,99	39,35	92,09	39,64	92,02	39,57	91,98	39,54
5000	84,81	37,12	84,81	37,15	85,10	37,14	84,95	37,08	84,88	37,10

Quadro VIII.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	98,41	73,29	25,12	17,05
125	1,27	-9,03	98,61	71,70	26,91	17,88
160	0,94	-10,34	100,08	70,05	30,03	19,69
200	0,89	-10,56	94,71	60,62	34,09	23,54
250	0,82	-10,91	97,16	58,01	39,14	28,23
315	0,70	-11,62	100,28	55,71	44,57	32,95
400	0,67	-11,77	102,36	57,43	44,93	33,16
500	0,65	-11,93	104,49	57,45	47,04	35,10
630	0,68	-11,75	105,71	56,95	48,75	37,00
800	0,73	-11,42	103,34	52,09	51,25	39,83
1000	0,75	-11,32	101,05	50,34	50,72	39,39
1250	0,81	-10,97	99,39	50,75	48,63	37,67
1600	0,92	-10,44	101,60	54,29	47,31	36,87
2000	0,92	-10,44	101,75	53,87	47,88	37,44
2500	0,97	-10,20	101,15	52,11	49,05	38,85
3150	1,02	-9,98	97,18	45,40	51,78	41,80
4000	1,00	-10,06	91,67	39,49	52,19	42,13
5000	0,99	-10,11	85,15	37,27	47,88	37,76

Quadro VIII.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS7.

f	R' _F	R' _M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R _M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	17,05	13,08	17,27
125	30,72	17,88	12,84	18,11
160	37,61	19,69	17,92	19,76
200	37,22	23,54	13,69	23,72
250	39,08	28,23	10,85	28,60
315	42,95	32,95	10,00	33,41
400	44,33	33,16	11,17	33,50
500	46,14	35,10	11,03	35,46
630	46,61	37,00	9,61	37,50
800	49,17	39,83	9,33	40,37
1000	53,50	39,39	14,11	39,57
1250	54,20	37,67	16,53	37,76
1600	54,95	36,87	18,08	36,94
2000	57,93	37,44	20,50	37,48
2500	58,47	38,85	19,62	38,90
3150	61,60	41,80	19,80	41,84
4000	64,28	42,13	22,15	42,16
5000	60,19	37,76	22,42	37,79

Quadro VIII.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS7.

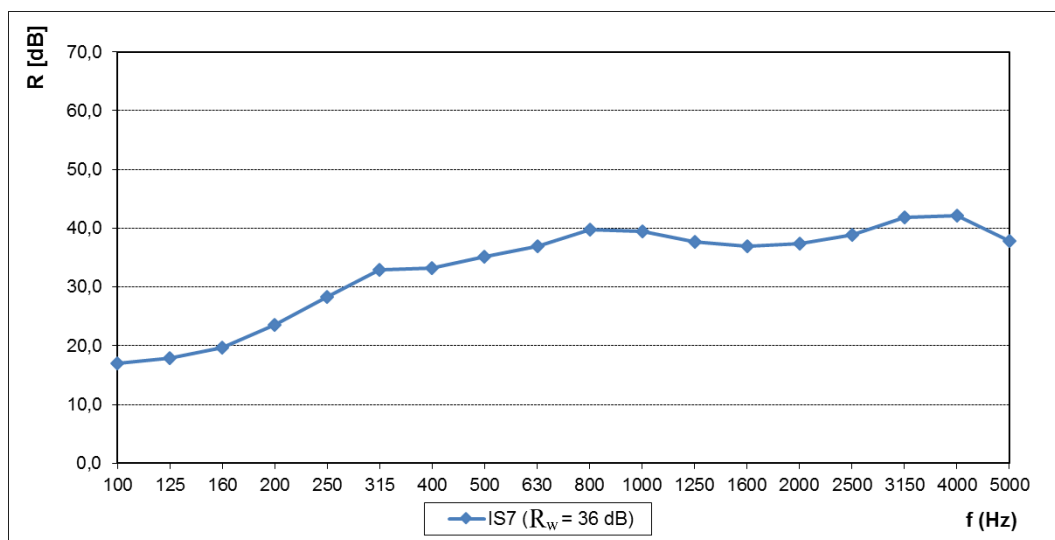
f	R	Curva de referência a	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	17,3	33	15	18	-0,73
125	18,1	36	15	21	-2,89
160	19,7	39	15	24	-4,31
200	23,7	42	15	27	-3,28
250	28,6	45	15	30	-1,40
315	33,4	48	15	33	0,00
400	33,5	51	15	36	-2,50
500	35,5	52	15	37	-1,54
630	37,5	53	15	38	-0,50
800	40,4	54	15	39	0,00
1000	39,6	55	15	40	-0,43
1250	37,7	56	15	41	-3,33
1600	36,9	56	15	41	-4,13
2000	37,4	56	15	41	-3,56
2500	38,8	56	15	41	-2,15
3150	41,8	56	15	41	0,00
4000	42,1				
5000	37,8				
				Σ	-30,741
				Verificação $D = \Sigma \leq 32 \text{ dB}$	-30,741
				R_w	37

Quadro VIII.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i1}	R	$L_{i1}-R$	$10^{(L_{i1}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	17,3	-46,3	2,36E-05
125	-26	18,1	-44,1	3,88E-05
160	-23	19,7	-42,7	5,38E-05
200	-21	23,7	-44,7	3,37E-05
250	-19	28,6	-47,6	1,74E-05
315	-17	33,4	-50,4	9,10E-06
400	-15	33,5	-48,5	1,41E-05
500	-13	35,5	-48,5	1,43E-05
630	-12	37,5	-49,5	1,12E-05
800	-11	40,4	-51,4	7,29E-06
1000	-10	39,6	-49,6	1,10E-05
1250	-9	37,7	-46,7	2,15E-05
1600	-9	36,9	-45,9	2,59E-05
2000	-9	37,4	-46,4	2,27E-05
2500	-9	38,8	-47,8	1,64E-05
3150	-9	41,8	-50,8	8,32E-06
$\Sigma 1$				3,29E-04
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 1)$				34,83
$R_w = 52 - \text{valor de ajustamento}$				37
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-2

Quadro VIII.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i2}	R	$L_{i2}-R$	$10^{(L_{i2}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-20	17,3	-37,3	1,88E-04
125	-20	18,1	-38,1	1,54E-04
160	-18	19,7	-37,7	1,70E-04
200	-16	23,7	-39,7	1,07E-04
250	-15	28,6	-43,6	4,36E-05
315	-14	33,4	-47,4	1,82E-05
400	-13	33,5	-46,5	2,24E-05
500	-12	35,5	-47,5	1,79E-05
630	-11	37,5	-48,5	1,41E-05
800	-9	40,4	-49,4	1,16E-05
1000	-8	39,6	-47,6	1,75E-05
1250	-9	37,7	-46,7	2,15E-05
1600	-10	36,9	-46,9	2,05E-05
2000	-11	37,4	-48,4	1,43E-05
2500	-13	38,8	-51,8	6,53E-06
3150	-15	41,8	-56,8	2,09E-06
$\Sigma 2$				8,29E-04
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				30,81
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				37
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-6

Figura VIII.I – Resultado final de IS7 - $R_w = 37$ (-2;-6) dB

ANEXO IX

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS8

Quadro IX.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio expedito IS8.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	96,49	74,13	97,31	74,94	100,01	71,16	99,51	73,28	99,70	77,92
125	99,44	71,92	99,88	75,40	97,57	67,56	98,73	69,27	97,70	70,51
160	98,98	70,28	99,60	68,32	98,37	64,78	97,88	69,11	95,50	69,71
200	92,95	62,94	93,29	61,10	95,61	60,49	91,65	59,32	96,74	59,45
250	97,93	56,50	95,56	58,30	97,85	58,07	97,78	57,74	97,48	59,99
315	100,06	57,32	101,75	57,19	100,30	56,81	97,81	55,39	100,28	56,63
400	102,94	60,02	101,89	59,41	101,44	58,07	102,02	57,79	103,29	58,27
500	103,78	59,08	104,36	58,73	103,91	57,48	103,86	58,10	103,28	58,64
630	105,38	57,70	105,63	59,20	104,37	57,64	105,50	56,78	105,56	57,80
800	103,04	53,91	103,42	53,67	103,15	52,46	102,79	53,19	103,22	53,58
1000	100,25	52,95	100,82	53,93	100,70	53,07	101,50	52,62	100,57	53,80
1250	99,28	54,69	99,42	54,27	98,55	53,45	98,59	53,18	98,80	54,63
1600	101,83	55,01	101,89	54,55	101,42	53,67	101,31	54,17	101,27	54,78
2000	101,28	54,34	101,88	55,32	102,08	54,17	101,33	53,78	101,40	54,23
2500	101,13	51,55	101,51	52,35	100,86	51,61	101,44	50,73	100,85	51,87
3150	97,19	45,01	97,21	45,09	96,84	45,03	96,89	45,11	96,11	45,49
4000	91,21	40,30	91,69	41,03	91,26	40,83	90,99	40,47	91,81	40,81
5000	85,57	38,48	85,78	38,79	84,16	38,55	84,99	38,24	84,91	38,27

Quadro IX.II – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	$R'_M = \Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	98,82	74,87	23,96	15,89
125	1,27	-9,03	98,76	71,80	26,96	17,93
160	0,94	-10,34	98,27	68,80	29,47	19,13
200	0,89	-10,56	94,45	60,88	33,57	23,02
250	0,82	-10,91	97,41	58,27	39,14	28,23
315	0,70	-11,62	100,21	56,72	43,49	31,87
400	0,67	-11,77	102,37	58,80	43,57	31,80
500	0,65	-11,93	103,85	58,44	45,41	33,48
630	0,68	-11,75	105,31	57,90	47,41	35,66
800	0,73	-11,42	103,13	53,39	49,74	38,32
1000	0,75	-11,32	100,79	53,30	47,48	36,16
1250	0,81	-10,97	98,94	54,09	44,86	33,89
1600	0,92	-10,44	101,55	54,46	47,09	36,65
2000	0,92	-10,44	101,60	54,40	47,20	36,76
2500	0,97	-10,20	101,17	51,65	49,51	39,31
3150	1,02	-9,98	96,86	45,15	51,72	41,74
4000	1,00	-10,06	91,40	40,69	50,71	40,65
5000	0,99	-10,11	85,12	38,47	46,65	36,53

Quadro IX.III – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS8.

f	R' F	R' M	$\Delta R = R' F - R' M$	R M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	15,89	14,25	16,05
125	30,72	17,93	12,79	18,16
160	37,61	19,13	18,48	19,19
200	37,22	23,02	14,21	23,19
250	39,08	28,23	10,85	28,60
315	42,95	31,87	11,07	32,23
400	44,33	31,80	12,53	32,05
500	46,14	33,48	12,66	33,72
630	46,61	35,66	10,95	36,02
800	49,17	38,32	10,85	38,69
1000	53,50	36,16	17,35	36,24
1250	54,20	33,89	20,31	33,93
1600	54,95	36,65	18,30	36,72
2000	57,93	36,76	21,17	36,80
2500	58,47	39,31	19,15	39,37
3150	61,60	41,74	19,86	41,78
4000	64,28	40,65	23,63	40,67
5000	60,19	36,53	23,65	36,55

Quadro IX.IV – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS8.

f	R	Curva de referênci a	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	16,1	33	17	16	0,00
125	18,2	36	17	19	-0,84
160	19,1	39	17	22	-2,87
200	23,2	42	17	25	-1,81
250	28,6	45	17	28	0,00
315	32,2	48	17	31	0,00
400	32,1	51	17	34	-1,95
500	33,7	52	17	35	-1,28
630	36,0	53	17	36	0,00
800	38,7	54	17	37	0,00
1000	36,2	55	17	38	-1,84
1250	33,9	56	17	39	-5,11
1600	36,7	56	17	39	-2,35
2000	36,8	56	17	39	-2,24
2500	39,3	56	17	39	0,00
3150	41,7	56	17	39	0,00
4000	40,7				
5000	36,5				
				Σ	-20,287
				Verificação $D = \Sigma \leq 32 \text{ dB}$	-20,287
				R_w	35

Quadro IX.V – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L _{i1}	R	L _{i1} -R	10 ^{(L_{i1}-R)/10}
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10 ⁻⁵)
100	-29	16,1	-45,1	3,12E-05
125	-26	18,2	-44,2	3,83E-05
160	-23	19,1	-42,1	6,12E-05
200	-21	23,2	-44,2	3,81E-05
250	-19	28,6	-47,6	1,74E-05
315	-17	32,2	-49,2	1,19E-05
400	-15	32,1	-47,1	1,97E-05
500	-13	33,7	-46,7	2,13E-05
630	-12	36,0	-48,0	1,58E-05
800	-11	38,7	-49,7	1,07E-05
1000	-10	36,2	-46,2	2,42E-05
1250	-9	33,9	-42,9	5,14E-05
1600	-9	36,7	-45,7	2,72E-05
2000	-9	36,8	-45,8	2,65E-05
2500	-9	39,3	-48,3	1,47E-05
3150	-9	41,7	-50,7	8,44E-06
Σ1				4,18E-04
-10 LOG (Σ1)				33,78
R_w = 52 – valor de ajustamento				35
C = (-10 LOG (Σ1) – R_w)				-1

Quadro IX.VI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L _{i2}	R	L _{i2} -R	10 ^{(L_{i2}-R)/10}
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10 ⁻⁵)
100	-20	16,1	-36,1	2,48E-04
125	-20	18,2	-38,2	1,53E-04
160	-18	19,1	-37,1	1,94E-04
200	-16	23,2	-39,2	1,21E-04
250	-15	28,6	-43,6	4,37E-05
315	-14	32,2	-46,2	2,38E-05
400	-13	32,1	-45,1	3,13E-05
500	-12	33,7	-45,7	2,68E-05
630	-11	36,0	-47,0	1,98E-05
800	-9	38,7	-47,7	1,70E-05
1000	-8	36,2	-44,2	3,84E-05
1250	-9	33,9	-42,9	5,14E-05
1600	-10	36,7	-46,7	2,16E-05
2000	-11	36,8	-47,8	1,67E-05
2500	-13	39,3	-52,3	5,87E-06
3150	-15	41,7	-56,7	2,12E-06
Σ2				1,01E-03
-10 LOG (Σ2)				29,94
R_w = 52 – valor de ajustamento				35
C_{tr} = (-10 LOG (Σ2) – R_w)				-5

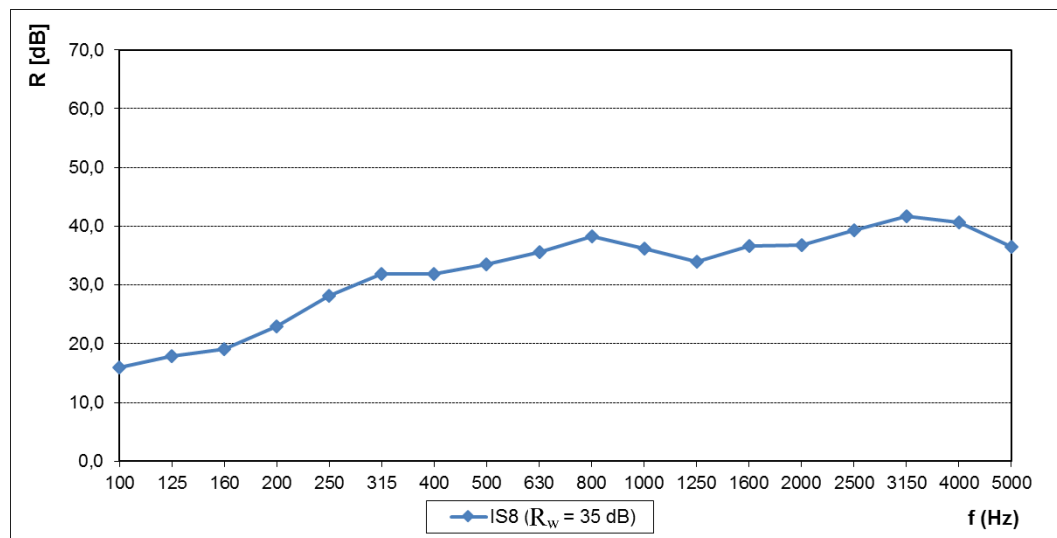


Figura IX.I – Resultado final de IS8 - $R_w = 35$ (-1;-5) dB

ANEXO X

RESULTADOS DO ENSAIO DE ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉROS

PROVETE IS9

Quadro X.I – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS9.

f	F1E1.1	F1R1.1	F1E2.1	F1R2.1	F1E3.1	F1R3.1	F1E4.1	F1R4.1	F1E5.1	F1R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,42	69,67	97,45	69,72	97,42	69,70	97,09	70,88	97,05	70,84
125	97,60	70,59	97,59	70,60	97,55	70,56	98,91	72,36	98,87	72,33
160	103,24	70,80	103,22	70,79	103,14	70,72	102,48	66,67	102,40	66,58
200	96,03	60,17	96,06	60,16	95,94	60,03	96,19	60,89	96,08	60,79
250	94,57	54,74	94,58	54,71	94,46	54,58	96,06	57,29	95,94	57,17
315	100,48	56,18	100,50	56,19	100,36	56,05	99,04	54,67	98,90	54,55
400	103,99	58,37	103,98	58,38	103,86	58,24	102,42	56,76	102,28	56,63
500	106,03	55,96	106,05	55,99	105,92	55,84	103,70	56,32	103,57	56,19
630	105,82	57,48	105,83	57,48	105,71	57,38	104,86	57,62	104,75	57,52
800	103,33	52,09	103,32	52,13	103,21	52,01	102,91	51,50	102,80	51,39
1000	100,64	47,91	100,65	47,92	100,53	47,78	101,35	48,11	101,24	48,00
1250	100,08	45,68	100,08	45,68	99,97	45,59	99,43	46,18	99,32	46,06
1600	102,01	48,30	102,01	48,33	101,92	48,22	101,08	49,22	100,98	49,09
2000	102,11	46,90	102,10	46,94	102,01	46,85	101,62	47,81	101,53	47,68
2500	101,07	44,82	101,09	44,82	101,01	44,78	100,62	45,34	100,55	45,25
3150	97,43	39,41	97,39	39,40	97,24	39,34	97,42	39,54	97,28	39,47
4000	91,57	36,72	91,49	36,70	91,39	36,68	91,71	36,97	91,60	36,94
5000	85,11	36,03	85,06	36,06	84,88	36,03	84,85	36,07	84,70	36,07

Quadro X.II – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS9.

f	F1E1.2	F1R1.2	F1E2.2	F1R2.2	F1E3.2	F1R3.2	F1E4.2	F1R4.2	F1E5.2	F1R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,06	70,85	99,01	68,12	98,99	68,11	98,98	68,08	98,49	68,56
125	98,87	72,33	100,27	66,84	100,25	66,82	100,24	66,81	98,74	67,69
160	102,41	66,59	99,76	67,60	99,69	67,55	99,69	67,53	103,09	72,33
200	96,09	60,80	96,09	59,36	95,98	59,30	95,99	59,28	94,64	60,62
250	95,95	57,18	92,15	58,67	92,06	58,60	92,04	58,58	94,40	55,62
315	98,91	54,55	98,91	52,73	98,81	52,66	98,80	52,63	98,08	53,11
400	102,30	56,63	104,03	56,10	103,94	56,02	103,92	55,99	101,76	56,87
500	103,58	56,20	103,98	55,39	103,89	55,30	103,88	55,28	102,54	55,16
630	104,76	57,53	104,68	54,46	104,62	54,38	104,59	54,38	105,70	55,82
800	102,81	51,38	101,81	51,50	101,73	51,44	101,71	51,43	103,21	51,62
1000	101,24	48,00	100,26	47,73	100,16	47,68	100,15	47,62	101,02	46,49
1250	99,31	46,02	98,92	45,45	98,87	45,37	98,84	45,37	99,13	45,33
1600	100,98	49,10	101,49	47,81	101,44	47,79	101,43	47,76	101,60	47,38
2000	101,53	47,70	101,49	46,88	101,42	46,83	101,41	46,84	100,87	46,29
2500	100,56	45,26	100,46	44,91	100,42	44,89	100,40	44,89	101,12	44,53
3150	97,27	39,46	96,32	39,42	96,25	39,37	96,24	39,41	97,02	39,36
4000	91,60	36,94	90,92	36,80	90,83	36,78	90,81	36,77	91,29	36,75
5000	84,65	36,04	84,33	36,03	84,16	36,00	84,13	35,97	84,34	36,02

Quadro X.III – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS9.

f	F1E1.3	F1R1.3	F1E2.3	F1R2.3	F1E3.3	F1R3.3	F1E4.3	F1R4.3	F1E5.3	F1R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	98,45	68,53	98,46	68,53	97,53	73,98	97,49	73,94	97,48	73,93
125	98,70	67,66	98,71	67,68	97,16	71,95	97,12	71,90	97,11	71,89
160	103,01	72,24	103,03	72,26	101,11	72,17	101,04	72,10	101,02	72,08
200	94,54	60,53	94,55	60,54	97,60	61,30	97,51	61,22	97,49	61,20
250	94,28	55,50	94,30	55,52	94,10	56,41	94,00	56,32	93,97	56,29
315	97,95	52,98	97,97	53,01	97,98	53,46	97,87	53,36	97,84	53,33
400	101,62	56,75	101,64	56,76	103,26	57,57	103,15	57,47	103,13	57,44
500	102,41	55,01	102,43	55,04	102,84	56,09	102,73	55,99	102,69	55,96
630	105,61	55,69	105,63	55,72	105,21	56,94	105,13	56,86	105,11	56,83
800	103,10	51,49	103,11	51,49	102,25	51,68	102,15	51,61	102,12	51,60
1000	100,91	46,37	100,92	46,40	100,90	47,53	100,79	47,44	100,77	47,42
1250	99,03	45,24	99,04	45,25	99,26	45,83	99,17	45,76	99,14	45,74
1600	101,51	47,28	101,52	47,32	101,29	48,41	101,21	48,34	101,20	48,32
2000	100,78	46,19	100,79	46,22	101,10	47,11	101,03	47,06	101,02	47,05
2500	101,05	44,47	101,06	44,48	100,91	44,75	100,85	44,67	100,84	44,66
3150	96,89	39,23	96,91	39,24	96,76	39,61	96,68	39,56	96,65	39,48
4000	91,18	36,70	91,18	36,71	90,78	36,84	90,67	36,77	90,64	36,77
5000	84,15	35,98	84,16	36,01	84,32	36,09	84,17	36,09	84,11	36,03

Quadro X.IV – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS9.

f	F2E1.1	F2R1.1	F2E2.1	F2R2.1	F2E3.1	F2R3.1	F2E4.1	F2R4.1	F2E5.1	F2R5.1
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	96,68	73,79	96,64	73,77	96,66	73,79	97,74	74,63	97,73	74,64
125	100,01	72,61	99,97	72,58	99,99	72,60	99,75	76,75	99,74	76,75
160	99,02	70,28	98,94	70,23	98,95	70,27	99,91	68,17	99,90	68,17
200	91,50	60,43	91,39	60,32	91,42	60,34	92,29	59,35	92,27	59,32
250	96,75	55,65	96,62	55,52	96,64	55,58	95,50	57,05	95,46	57,02
315	100,32	55,77	100,18	55,63	100,20	55,66	101,75	55,25	101,70	55,23
400	102,86	57,27	102,73	57,14	102,76	57,17	101,46	56,57	101,41	56,52
500	104,23	58,00	104,10	57,85	104,14	57,88	104,55	55,87	104,52	55,82
630	104,93	55,46	104,81	55,36	104,84	55,39	105,51	55,69	105,50	55,64
800	102,09	53,19	101,97	53,06	101,99	53,09	103,92	52,01	103,88	51,99
1000	100,58	48,34	100,44	48,22	100,46	48,22	100,46	47,61	100,41	47,56
1250	99,74	46,53	99,65	46,40	99,66	46,43	99,15	46,44	99,11	46,42
1600	101,49	48,94	101,41	48,87	101,43	48,86	102,60	48,61	102,56	48,58
2000	101,90	47,03	101,80	46,95	101,83	46,95	101,45	48,12	101,43	48,08
2500	100,67	44,59	100,62	44,53	100,65	44,53	100,69	44,50	100,65	44,52
3150	96,51	39,72	96,40	39,60	96,41	39,62	96,77	39,61	96,74	39,57
4000	91,54	36,84	91,43	36,77	91,45	36,80	91,59	37,06	91,52	37,04
5000	85,06	36,08	84,88	36,08	84,89	36,08	84,96	36,06	84,88	36,05

Quadro X.V – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS9.

f	F2E1.2	F2R1.2	F2E2.2	F2R2.2	F2E3.2	F2R3.2	F2E4.2	F2R4.2	F2E5.2	F2R5.2
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	97,72	74,61	100,56	71,37	100,53	71,35	100,52	71,35	100,28	73,40
125	99,72	76,73	98,25	67,06	98,23	67,03	98,22	67,02	99,26	69,29
160	99,85	68,13	98,52	64,64	98,48	64,60	98,46	64,57	98,07	68,41
200	92,19	59,24	94,11	58,24	94,04	58,17	94,00	58,15	90,40	57,06
250	95,37	56,93	97,77	57,20	97,69	57,10	97,65	57,05	97,48	56,66
315	101,61	55,14	100,63	55,29	100,54	55,20	100,49	55,16	98,22	54,10
400	101,33	56,43	101,49	55,45	101,41	55,38	101,36	55,34	101,77	55,74
500	104,43	55,74	104,02	55,02	103,93	54,94	103,88	54,89	104,04	55,68
630	105,42	55,59	104,38	55,39	104,31	55,31	104,26	55,27	104,89	54,77
800	103,82	51,92	103,53	51,53	103,45	51,47	103,42	51,42	102,14	51,90
1000	100,34	47,48	100,14	47,97	100,07	47,90	100,03	47,83	101,02	47,04
1250	99,06	46,33	97,71	45,82	97,64	45,73	97,61	45,68	98,54	45,23
1600	102,51	48,52	101,35	47,36	101,29	47,29	101,27	47,28	101,61	47,05
2000	101,38	48,03	101,38	46,17	101,31	46,10	101,30	46,08	101,26	46,78
2500	100,61	44,45	101,28	44,17	101,23	44,13	101,20	44,12	100,41	44,00
3150	96,66	39,44	96,32	39,38	96,21	39,37	96,17	39,24	96,46	39,29
4000	91,46	36,99	91,65	36,66	91,56	36,58	91,53	36,62	91,45	36,71
5000	84,77	36,06	84,54	36,03	84,43	36,01	84,38	35,99	84,82	35,95

Quadro X.VI – Medições relativas aos níveis de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora para o ensaio IS9.

f	F2E1.3	F2R1.3	F2E2.3	F2R2.3	F2E3.3	F2R3.3	F2E4.3	F2R4.3	F2E5.3	F2R5.3
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	100,24	73,37	100,25	73,39	99,91	77,54	99,93	77,57	99,91	77,55
125	99,23	69,24	99,24	69,27	98,12	70,16	98,14	70,17	98,12	70,14
160	98,01	68,33	98,04	68,37	95,71	69,53	95,73	69,55	95,69	69,49
200	90,31	56,96	90,36	57,00	95,95	57,00	95,96	57,01	95,88	56,95
250	97,37	56,54	97,42	56,59	97,72	57,89	97,73	57,89	97,64	57,82
315	98,11	53,99	98,17	54,03	100,92	56,10	100,92	56,10	100,83	56,02
400	101,67	55,63	101,72	55,69	103,03	56,04	103,03	56,04	102,95	55,96
500	103,94	55,58	103,99	55,64	103,60	56,45	103,60	56,44	103,51	56,37
630	104,78	54,68	104,82	54,72	105,66	55,59	105,67	55,59	105,59	55,53
800	102,05	51,80	102,10	51,84	102,57	52,22	102,58	52,24	102,50	52,17
1000	100,91	46,97	100,97	46,99	99,83	47,86	99,84	47,88	99,77	47,80
1250	98,45	45,13	98,50	45,16	99,15	46,91	99,17	46,93	99,11	46,85
1600	101,52	46,97	101,56	47,00	101,58	48,12	101,58	48,13	101,52	48,07
2000	101,21	46,71	101,25	46,72	101,54	47,50	101,57	47,53	101,52	47,46
2500	100,37	43,95	100,40	43,99	101,00	44,57	101,04	44,59	100,99	44,56
3150	96,33	39,25	96,36	39,23	96,85	39,85	96,84	39,82	96,75	39,78
4000	91,36	36,65	91,39	36,63	91,66	36,83	91,66	36,86	91,59	36,84
5000	84,68	35,97	84,71	35,97	84,85	36,04	84,83	35,99	84,72	35,99

Quadro X.VII – Cálculos de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010).

f	T _r	C	L ₁	L ₂	$\Delta L = L_1 - L_2$	R' _M = $\Delta L + C$
(Hz)	(s)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	1,58	-8,07	98,66	73,12	25,54	17,47
125	1,27	-9,03	98,90	71,59	27,31	18,28
160	0,94	-10,34	100,62	69,60	31,02	20,68
200	0,89	-10,56	94,95	59,62	35,33	24,77
250	0,82	-10,91	95,92	56,80	39,13	28,22
315	0,70	-11,62	99,76	54,76	44,99	33,37
400	0,67	-11,77	102,64	56,70	45,95	34,18
500	0,65	-11,93	103,99	56,01	47,98	36,05
630	0,68	-11,75	105,14	55,99	49,14	37,39
800	0,73	-11,42	102,77	51,90	50,87	39,45
1000	0,75	-11,32	100,58	47,63	52,95	41,63
1250	0,81	-10,97	99,10	45,92	53,18	42,22
1600	0,92	-10,44	101,59	48,13	53,46	43,02
2000	0,92	-10,44	101,44	47,06	54,39	43,95
2500	0,97	-10,20	100,80	44,61	56,20	46,00
3150	1,02	-9,98	96,73	39,47	57,26	47,29
4000	1,00	-10,06	91,36	36,79	54,57	44,51
5000	0,99	-10,11	84,63	36,03	48,60	38,48

Quadro X.VIII – Verificação de acordo com a norma EN ISO 10140-2 (CEN,2010) para o ensaio IS9.

f	R' _F	R' _M	$\Delta R = R'_F - R'_M$	R _M
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	30,13	17,47	12,66	17,7
125	30,72	18,28	12,44	18,5
160	37,61	20,68	16,93	20,7
200	37,22	24,77	12,45	25,0
250	39,08	28,22	10,86	28,6
315	42,95	33,37	9,58	33,9
400	44,33	34,18	10,15	34,6
500	46,14	36,05	10,09	36,5
630	46,61	37,39	9,22	37,9
800	49,17	39,45	9,72	39,9
1000	53,50	41,63	11,88	41,9
1250	54,20	42,22	11,98	42,5
1600	54,95	43,02	11,93	43,3
2000	57,93	43,95	13,99	44,1
2500	58,47	46,00	12,47	46,3
3150	61,60	47,29	14,31	47,4
4000	64,28	44,51	19,77	44,5
5000	60,19	38,48	21,70	38,5

Quadro X.IX – Ajuste analítico da curva de referência para determinação de R_w do provete IS9.

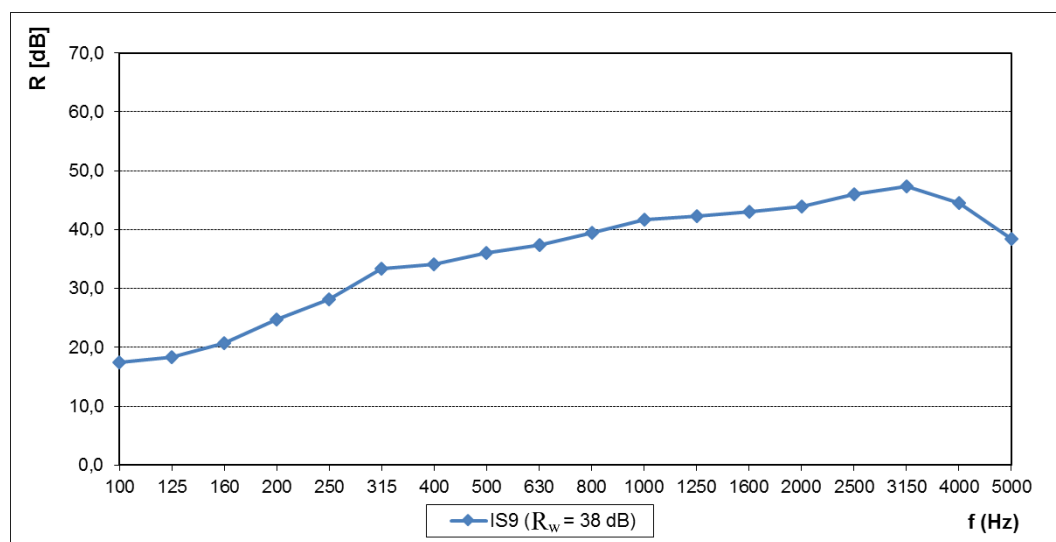
f	R	Curva de referência a	Valor de ajustamento	Curva de referência – valor de ajustamento	Desvios desfavoráveis
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
100	17,7	33	13	20	-2,29
125	18,5	36	13	23	-4,47
160	20,7	39	13	26	-5,32
200	25,0	42	13	29	-3,97
250	28,6	45	13	32	-3,41
315	33,9	48	13	35	-1,12
400	34,6	51	13	38	-3,38
500	36,5	52	13	39	-2,50
630	37,9	53	13	40	-2,06
800	39,9	54	13	41	-1,06
1000	41,9	55	13	42	-0,08
1250	42,5	56	13	43	-0,50
1600	43,3	56	13	43	0,00
2000	44,1	56	13	43	0,00
2500	46,3	56	13	43	0,00
3150	47,4	56	13	43	0,00
4000	44,5				
5000	38,5				
				Σ	-30,162
				Verificação $D = \Sigma \leq 32$ dB	-30,162
				R_w	39

Quadro X.X – Cálculo do termo de adaptação espectral, C, para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i1}	R	$L_{i1}-R$	$10^{(L_{i1}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB x 10^{-5})
100	-29	17,7	-46,7	2,13E-05
125	-26	18,5	-44,5	3,52E-05
160	-23	20,7	-43,7	4,28E-05
200	-21	25,0	-46,0	2,50E-05
250	-19	28,6	-47,6	1,74E-05
315	-17	33,9	-50,9	8,17E-06
400	-15	34,6	-49,6	1,09E-05
500	-13	36,5	-49,5	1,12E-05
630	-12	37,9	-49,9	1,01E-05
800	-11	39,9	-50,9	8,05E-06
1000	-10	41,9	-51,9	6,43E-06
1250	-9	42,5	-51,5	7,08E-06
1600	-9	43,3	-52,3	5,88E-06
2000	-9	44,1	-53,1	4,87E-06
2500	-9	46,3	-55,3	2,98E-06
3150	-9	47,4	-56,4	2,27E-06
$\Sigma 1$				2,20E-04
-10 LOG ($\Sigma 1$)				36,58
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				39
$C = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 1) - R_w)$				-2

Quadro X.XI – Cálculo do termo de adaptação espectral, C_{tr} , para bandas de frequências com largura de um terço de oitava.

f	L_{i2}	R	$L_{i2}-R$	$10^{(L_{i2}-R)/10}$
(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB $\times 10^{-5}$)
100	-20	17,7	-37,7	1,69E-04
125	-20	18,5	-38,5	1,40E-04
160	-18	20,7	-38,7	1,36E-04
200	-16	25,0	-41,0	7,90E-05
250	-15	28,6	-43,6	4,38E-05
315	-14	33,9	-47,9	1,63E-05
400	-13	34,6	-47,6	1,73E-05
500	-12	36,5	-48,5	1,41E-05
630	-11	37,9	-48,9	1,28E-05
800	-9	39,9	-48,9	1,28E-05
1000	-8	41,9	-49,9	1,02E-05
1250	-9	42,5	-51,5	7,08E-06
1600	-10	43,3	-53,3	4,67E-06
2000	-11	44,1	-55,1	3,07E-06
2500	-13	46,3	-59,3	1,19E-06
3150	-15	47,4	-62,4	5,69E-07
$\Sigma 2$				6,68E-04
$-10 \text{ LOG } (\Sigma 2)$				31,75
$R_w = 52$ – valor de ajustamento				39
$C_{tr} = (-10 \text{ LOG } (\Sigma 2) - R_w)$				-7

Figura X.I – Resultado final de IS9 - $R_w = 39$ (-2;-7) dB

ANEXO XI

BOLETIM DE ENSAIO

PROVETE IS9



Boletim n.º	
Pág.	1/3
Processo n.º	
Pedido n.º	
Visto	

BOLETIM DE ENSAIO

MEDIÇÃO EM LABORATÓRIO DO ISOLAMENTO SONORO DE DIVISÓRIAS E DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO NORMALIZADO
1 | Identificação**Cliente/Requerente:****Endereço:****Referência do Cliente:****Identificação da(s) amostra(s):** Protótipo I - Extensível em altura ref. IS9**Data de montagem:** 2013-04-20**Data de ensaio:** 2013-04-20**Normas de ensaio:** EN ISO 20140 partes 1, 2 e 4 de 2010; NP EN ISO 717:2013**2 | Descrição do provete**

O sistema ensaiado, composto por uma moldura metálica revestida com duas placas MDF de 8mm cada e caixa-de-ar de 80mm preenchida com lã mineral de 100mm de espessura e uma densidade de 30 kg/m³. O sistema tem as dimensões de 234cm de altura por 81cm de largura e 10cm de profundidade aproximadamente. O protótipo foi fixo à envolvente por silicone nas faces laterais e face superior. Na base foi colocada uma alcatifa de simulação de pavimento, Isolmant Polimuro com 12 mm de espessura, não havendo fixação por este lado. O sistema mecânico foi desabilitado ficando o provete apenas assente pelo seu peso próprio.



Figura 1 – Fotografia do Provete.

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Av. do Brasil 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL • tel. (+351) 21 844 30 00 • fax: (+351) 21 844 30 20 • lnecc@lnecc.pt www.lnecc.pt

Não é permitida a divulgação parcial dos resultados constantes deste Boletim na qual se faça referência ao LNEC, a não ser que seja obtida expressa autorização. Salvo indicação em contrário, os elementos identificadores das amostras ensaiadas são simples transcrição de informações recebidas ou de anotações apostas enviadas, não sendo por isso da responsabilidade do LNEC. Os resultados só são válidos para os itens ensaiados.



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**ENSAIOS
e METROLOGIA**

UAVE - Unidade de Acústica e Vibrações em Edifícios

Boletim n.º

Pág. 2/3

Processo n.º

Pedido n.º

Visto

BOLETIM DE ENSAIO

3 | Instalações de ensaio

Câmaras reverberantes, paralelepípedicas, cada uma com dimensões de 4,5 m x 4,9 m x 5,5 m, volume de 121,0 m³ e área total da envolvente de 147,5 m². Entre estas câmaras existe uma abertura de ensaio com área de 10 m², onde é inserido o provete.

4 | Procedimento de medição

A medição foi efetuada segundo o procedimento 01 da UAVE, versão 01. Este procedimento segue as normas de ensaio EN ISO 20140 partes 1, 2 e 4 de 2010. Para o efeito foi utilizado ruído rosa produzido por fonte sonora da marca B & K e modelo 4224 e o sistema de medição Pulse da B&K ao qual estavam acoplados microfones modelo 4190 da B&K, e respetivos pré-amplificadores associados. O cálculo do índice de isolamento sonoro é efetuado segundo a norma NPEN ISO 717:2013

5 | Condições ambientais durante a realização do ensaio

Câmara emissora	Câmara recetora
Humidade relativa: 80% ± 3 %	Humidade relativa: 80% ± 3 %
Temperatura: 20°C ± 1° C	Temperatura: 20°C ± 1° C
Pressão atmosférica: 1013 ± 10 mbar	Pressão atmosférica: 1013 ± 10 mbar

6 | Resultados

f(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
R	17,7	18,5	20,7	25,0	28,6	33,9	34,6	36,5	37,9
f(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
R	39,9	41,9	42,5	43,3	44,1	46,3	47,4	44,5	38,5

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Av. do Brasil 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL • tel. (+351) 21 844 30 00 • fax: (+351) 21 844 30 20 • lnecc@lnecc.pt www.lnecc.pt

Não é permitida a divulgação parcial dos resultados constantes deste Boletim na qual se faça referência ao LNEC, a não ser que seja obtida expressa autorização. Salvo indicação em contrário, os elementos identificadores das amostras ensaiadas são simples transcrição de informações recebidas ou de anotações apostas enviadas, não sendo por isso da responsabilidade do LNEC. Os resultados só são válidos para os itens ensaiados.



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**ENSAIOS
e METROLOGIA**

UAVE - Unidade de Acústica e Vibrações em Edifícios

Boletim n.º

Pág.

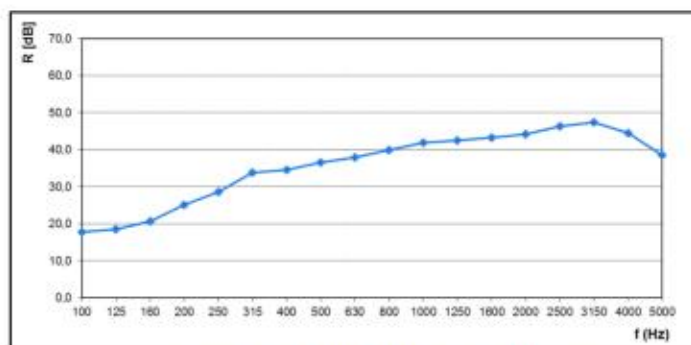
3/3

Processo n.º

Pedido n.º

Visto

BOLETIM DE ENSAIO



Curva característica de isolamento do Provete

$R_w = 39 \text{ dB } (-2;-7)$	
$C_{100-3150} = -2 \text{ dB}$	$C_{tr100-3150} = -7 \text{ dB}$

O TÉCNICO RESPONSÁVEL
(Assinatura)O COORDENADOR DA UAVE
(Assinatura)

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Av. do Brasil 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL • tel. (+351) 21 844 30 00 • fax: (+351) 21 844 30 20 • lnec@lnec.pt www.lnec.pt

Não é permitida a divulgação parcial dos resultados constantes deste Boletim na qual se faça referência ao LNEC, a não ser que seja obtida expressa autorização. Salvo indicação em contrário, os elementos identificadores das amostras ensaiadas são simples transcrição de informações recebidas ou de anotações apontadas enviadas, não sendo por isso da responsabilidade do LNEC. Os resultados só são válidos para os itens ensaiados.